

THÉORIE
SCIENCE S

PLAN DE SCIENCE INTÉGRALE

PAR

L. BOURDEAU

Ad lucem, per lucem

TOME SECOND

PARIS
LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—
1882

THÉORIE
DES SCIENCES

PLAN DE SCIENCE INTÉGRALE

PARIS. — IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET, RUE MIGNON, 2.

THÉORIE
DES
SCIENCES

PLAN DE SCIENCE INTÉGRALE

PAR

L. BOURDEAU

Ad lucem, per lucem

TOME SECOND

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—
1882

Tous droits réservés

ERRATA DU TOME SECOND

- Page 16, ligne 22, *au lieu de* qui déterminent, *lisez* que déterminent.
- 60, ligne 25, *au lieu de* aux rayons, *lisez* au rayon.
 - 62, ligne 14, *au lieu de* et se réduit, *lisez* et le nombre se réduit.
 - 138, ligne 26, *au lieu de* au point où l'observation se trouve placée, *lisez* au point où l'observateur se trouve placé.
 - 174, ligne 17, *au lieu de* les séries de combinaisons, *lisez* des séries de combinaisons.
 - 210, ligne 22, *au lieu de* 18H0, *lisez* 18H²⁰.
 - 386, ligne 34, *au lieu de* (Anatomie et pathologie cellulaires), *lisez* (Anatomie et physiologie cellulaires).
 - 409, ligne 6, *au lieu de* λενος, *lisez* γενός.
 - 447, ligne 19, *au lieu de* états successifs, *lisez* stades successifs.
 - 455, 457, 459, 461 et 463, titres de pages, *au lieu de* méthode de la praxéologie, *lisez* définition de la praxéologie.
 - 466, tableau, ligne 4, colonne 2, *au lieu de* Praxéologie générale ou Psychologie, *lisez* Praxéologie spéciale ou Psychologie.
 - 494, ligne 10, *au lieu de* réparation, *lisez* séparation.
 - 502, ligne 36, *au lieu de* vertige, *lisez* vestige.
 - 515, ligne 36, *au lieu de* (De metu musculari), *lisez* (De motu musculari).
 - 603, ligne 11, *au lieu de* Kart Ritter, *lisez* Karl Ritter.

THÉORIE DES SCIENCES

PLAN DE SCIENCE INTÉGRALE

LIVRE IV

POÏOLOGIE OU PHYSIQUE

SCIENCE DES MODALITÉS

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION DE LA PHYSIQUE

Nous avons vu, dans les sciences qui précèdent, l'universelle réalité se résoudre en déterminations idéales de grandeur, puis la mesure des grandeurs s'appliquer à l'ordre de collocation des masses. Poursuivons l'analyse des aspects de la nature : nous aurons à scruter dans les masses la condition des particules qui les constituent.

Pour la Dynamique, chaque corps est un tout qui a son existence distincte, sa grandeur, sa somme de puissance et son unité. La masse se définit une quantité de matière pesante, perceptible et conséquemment observable. Ses dimensions peuvent aller de l'énormité des astres à l'infinité

L. BOURDEAU.

II. — 1

des moindres corpuscules que nos sens soient capables de saisir ; mais, si atténuées qu'elles soient, aussi longtemps qu'il nous est donné de voir ou de toucher les choses, leur étude rentre dans le champ de l'exploration dynamique. Toutefois, cette recherche a nécessairement un terme. Au delà d'un certain degré de petitesse, limite imposée à l'impressionnabilité de nos organes, les particules des masses échappent à la perception. Il ne faut donc plus lui demander de nous renseigner sur les nombres, les volumes, les distances, les poids et les situations d'éléments devenus intangibles et invisibles. L'idée même de corps, impliquant celle de grandeur appréciable, semble alors s'évanouir. Là finit l'investigation dynamique et nous touchons la frontière d'un monde nouveau, celui des masses insaisissables dont, au premier abord, l'accès paraît interdit.

Cependant la réalité des choses, même réduite à ce point où elle se dérobe à l'observation directe, ne cesse pas de subsister. Comme l'expérience le montre, les masses peuvent tour à tour disparaître et reparaitre, c'est-à-dire se laissent alternativement diviser en parcelles imperceptibles et reconstituer avec ces mêmes parcelles en agrégats perceptibles. La liquéfaction des solides, la vaporisation des liquides et la diffusion des gaz prouvent que la divisibilité de leurs éléments est susceptible d'aller, sans que leur existence soit anéantie, bien au delà de la borne où s'arrête le pouvoir de nos sens. En ce cas même la nature des corps ne subit pas de transformation essentielle ; l'union seule de leurs particules se trouve détruite. Malgré la disgrégation subie, chacune d'elles conserve les propriétés de l'ensemble et il suffit de grouper de nouveau ces parcelles, sous des influences déterminées, pour voir la masse rétablie avec les mêmes attributs.

Effectuons par la pensée cette fragmentation des corps et conduisons-la aussi loin qu'il est possible de la concevoir, sous l'unique mais expresse réserve que la substance des choses ne soit pas dénaturée, c'est-à-dire que les particules

détachées de la masse ressemblent au tout et se ressemblent entre elles quant à leurs propriétés générales. Nous aurons ainsi des masses réduites à leur minimum de grandeur et dont chacune présentera, sous des dimensions irréductibles, les qualités propres au corps dont elle faisait partie. Ces éléments des masses, qui constituent les moindres parcelles qu'on en puisse séparer sans porter atteinte à leur homogénéité commune, ont reçu le nom de « molécules » (du latin fictif « *molecula* », petite masse). Dès le premier âge de la spéculation chez les Grecs, on trouve un essai de théorie moléculaire. Les philosophes de l'école ionienne expliquaient la formation des corps par le rapprochement d'une multitude de particules semblables qu'Anaxagore avait appelées « homéoméries » (de ὁμοίως μέρος, partie similaire). Il supposait ainsi les os composés de petits os, la chair de petites parcelles de chair, etc. Mais cette conception, restée à l'état d'hypothèse métaphysique, ne réussit pas à se faire admettre dans la science, car on ne voyait pas alors nettement quels effets spéciaux les particules de ce genre sont susceptibles de produire dans l'ordre de la nature. L'emploi du terme « molécule » est récent et ne remonte pas au delà du xvii^e siècle. L'idée qu'il exprime et son application à la connaissance des corps marquent le point de départ d'une étude nouvelle de l'univers.

Représentons-nous chaque masse homogène comme un assemblage de molécules pareilles qui peuvent s'agréger, se disjoindre, s'influencer réciproquement et traverser diverses manières d'être sans que leur intégrité soit compromise. Nous aurons une conception des corps distincte de celle que la Dynamique établit. Réservons le problème de la composition des molécules qui relève d'une science ultérieure et tenons-les pour une quantité fixe, constituée par la moindre partie d'un corps qui puisse subsister isolée sans perdre les propriétés caractéristiques de la masse, de telle sorte qu'avec la molécule on ait le corps, tandis qu'avec une partie de la molécule on aurait un

corps différent. Comme les molécules ressemblent aux masses, sauf pour la grandeur, elles subissent l'action des mêmes forces et, pesantes quoique pour nous impondérables, cèdent à l'empire de la gravité. Mais elles ont aussi des mouvements propres, une puissance particulière d'action, par cela seul qu'elles forment un tout défini et persistant. A raison de leur union dans un agrégat déterminé, elles entretiennent les unes avec les autres des relations dont les résultantes se traduisent en modalités. Leurs conditions diverses d'équilibre ou de mouvement se manifestent dans les corps par des phénomènes spéciaux sur lesquels doivent maintenant porter nos recherches. Après les effets d'ensemble que produit l'ordre de collocation des masses, nous avons à scruter les effets de détail qui, dans les masses, ont pour cause les situations respectives des molécules.

Pour se faire une idée précise de la constitution des corps, on souhaiterait avoir quelques données sur les quantités, les dimensions, les distances et les rapports des molécules. La science ne peut encore fournir à cet égard que des conjectures. Il est pourtant bon de les exposer car, si elles n'ont pas la valeur de résultats rigoureux, elles offrent du moins à la pensée une indication première, des approximations de la vérité. On a tenté de calculer, d'après les variations qu'éprouve le coefficient de dilatation des gaz, le diamètre de leurs molécules, et l'on a trouvé des fractions de milliardième de millimètre. Le nombre des molécules d'air contenues dans un centimètre cube, à la pression ordinaire, est évalué à 21 trillions ou 21 suivi de 18 zéros¹. (Wurtz, *Théorie atomique, conclusion*, p. 234.) Si l'on suppose une goutte d'eau ou un globule de verre de la grosseur d'un pois amplifié jusqu'à égaler le volume de la terre, ses molécules, grossies dans la même proportion, équiva-

1. Les trillions ainsi désignés seraient plutôt des quintillions d'après la manière, qui a prévalu depuis plusieurs siècles, de dénombrer par trois les tranches de chiffres à partir des millions.

draient à de petites sphères plus grandes que des grains de plomb, mais moindres que des oranges (Thompson, voy. *Revue scientifique*, 16 mars 1872). Relativement au poids absolu des molécules, un milligramme d'air en contiendrait 10 trillions et le même poids d'hydrogène 144 trillions. De tels chiffres confondent l'imagination; mais que représentent en nombres, volumes et poids, les effluves odorants du musc ou les parcelles de rosaniline capables de teindre 100 000 000 de fois leur volume d'alcool? On sait d'ailleurs que l'épaisseur de certaines feuilles d'or se réduit à $5/1\ 000\ 000^{\text{es}}$ de millimètre et celle des bulles de savon à $1/1\ 000\ 000^{\text{es}}$.

Les molécules agglomérées en quantités si prodigieuses dans les masses ne s'y trouvent pourtant jamais en contact, quelle que soit l'apparente compacité des corps. Ceux même dont l'aspect suggère le mieux l'idée d'une substance continue doivent être conçus comme des agrégats de particules séparées les unes des autres par de notables intervalles. On ne connaît pas, en effet, de corps incompressible ou impénétrable. Sous des pressions suffisamment énergiques, le volume des plus résistants se laisse réduire sans terme connu. L'eau, que l'on croyait jadis faire exception, a été ramenée à la loi commune. Elle est même capable d'absorber, à la température de 0, mille fois son volume de gaz ammoniac. Le palladium loge et retient dans ses interstices jusqu'à 900 fois son volume d'hydrogène. En outre, les corps se contractent généralement par l'action du froid, et ce retrait, dont la limite est indéterminée, implique un rapprochement de leurs molécules. Il y a donc, dans les masses les plus denses, des espaces intermoléculaires, des pleins et des vides relatifs, et même des vides communément plus considérables que les pleins. M. Thompson estime que, dans les liquides et les solides transparents, les centres des molécules sont séparés par des distances de 14 à 46/10 000 000^{es} de millimètre. Les corps constituent ainsi des systèmes de molécules qui

rappellent les systèmes d'astres. Si grande que soit l'inégalité des masses cosmiques et des molécules, leurs distances respectives sont en effet de même ordre, et celles où se meuvent les molécules de l'air rappellent, toute proportion gardée, celles où la gravitation fait agir les mondes, car les molécules aériennes sont séparées par un intervalle d'environ cent fois leur diamètre, alors que la terre se trouve éloignée du soleil de cent et quelques diamètres solaires, et de la lune de trente diamètres terrestres. « S'il nous était permis, dit M. Cauchy, d'apercevoir les molécules des différents corps, elles représenteraient à nos regards des espèces de constellations et, en passant de l'infiniment grand à l'infiniment petit, nous retrouverions dans les dernières particules de la matière, comme dans l'immensité des cieux, des centres d'action placés en présence les uns des autres. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. IX.)

Sous l'influence d'actions et de réactions mutuelles, les molécules se colloquent dans un ordre qui doit être fixe ou variable. « En thèse générale, on peut établir que toutes les molécules des corps sont animées d'un double mouvement simultané de translation et de rotation. » (Secchi, *L'unité des forces physiques*, 2^e édit., 1874, p. 144.) Elles tournent plus ou moins vite sur elles-mêmes, de droite à gauche ou de gauche à droite, orientent diversement leurs axes et coordonnent à l'occasion leurs mouvements giratoires. En outre, tantôt elles oscillent sur place par un mouvement de vibration ou de va-et-vient autour d'une position moyenne, et tantôt elles se dirigent en droite ligne jusqu'à ce qu'elles rencontrent un obstacle qui les fasse rebondir. Cette agitation continuelle des molécules n'est pas apparente dans les solides, parce que la cohésion la contient entre d'étroites limites et la dissimule sous l'aspect trompeur d'une permanence d'état; mais dans les liquides et surtout dans les gaz où les mouvements moléculaires s'accomplissent plus librement, ils se révèlent par des effets de diffusion.

M. Joule, essayant d'évaluer, d'après cet indice, la puissance de projection des molécules, a trouvé qu'à la température de 0 et à la pression d'une atmosphère, elles se meuvent avec une vitesse de 396 mètres par seconde pour l'acide carbonique, de 461 pour l'oxygène, de 492 pour l'azote et de 1859 pour l'hydrogène. Ces valeurs sont comparables à celles de nos projectiles d'artillerie. Mues avec cette vitesse et séparées par de minimes intervalles, les molécules gazeuses se choquent précipitamment les unes les autres et leur trajet moyen entre deux collisions serait d'environ 96 millièmes de millimètre pour l'oxygène, de 89 pour l'azote, de 92 pour l'acide carbonique et de 169 pour l'hydrogène. Enfin le nombre des chocs subis par chaque molécule en une seconde s'élèverait à 9720 millions pour l'acide carbonique, à 7646 pour l'oxygène et à 17750 pour l'hydrogène. (Clerk Maxwell, *Conférence à l'Assoc. britan.*, 1873, et Bouty, *Théorie des gaz.*)

Il convient donc de se représenter tous les corps, même ceux dont l'apparence est le moins sujette à changer, non comme des agrégats fixes de particules immobiles, mais comme des systèmes dynamiques dont les éléments, doués d'une activité prodigieuse, tourbillonnent, vibrent et frémissent sans relâche. La force dont les molécules sont animées produit des effets plus complexes et plus variés que celle qui agit sur les masses, à cause de la multiplicité des centres d'action et de la diversité des modes possibles d'équilibre ou de mouvement. Elle est même bien supérieure en puissance à la pesanteur, car elle la surmonte sans peine et se révèle dans certains phénomènes avec une incroyable énergie. Tyndall a qualifié les molécules de « géants travestis. » (*La chaleur*, ch. III, p. 79.) On pourrait en effet leur appliquer le mot de Stace sur une statuette d'Hercule, œuvre de Lysippe :

« Parvusque videri
Sentiri que ingens. » (*Sylves*, IV, 4).

Pour vaincre la cohésion des solides, comprimer les liquides ou contenir l'expansion des gaz, il faut employer des forces d'une intensité très grande. Ainsi, la chaleur nécessaire pour dilater de $1/800^{\circ}$ de son volume 1 kilog. de fer, en portant sa température de 0 à 100° , suffirait pour élever un poids de 5000 kilog. à la hauteur de 1 mètre (Tyndall, *id.*, p. 137). Lorsque 9 kilog. de glace à 0 se convertissent en eau, les molécules réclament, pour changer d'état, c'est-à-dire pour rompre la cohésion qui les lie, une quantité de chaleur égale à 303 000 kilogrammètres, et la conversion ultérieure de ces 9 kilog. d'eau en vapeur exige une quantité de force thermique représentée par 2 49 192 kilogrammètres (*id.*, p. 144). La force qui se dépense dans ces deux changements moléculaires équivaut conséquemment à la chute d'une tonne d'eau tombant dans un abîme de 2352 mètres. L'action physique a donc une puissance incomparablement supérieure à celle de l'action dynamique, et l'attraction exercée par le globe sur 1 kilog. de substance est bien peu de chose en comparaison de l'influence qu'exercent les unes sur les autres les molécules de cette petite masse.

Pour compléter la théorie moléculaire, il faut faire intervenir l'éther, milieu universel qui, non seulement enveloppe tous les corps, mais encore les pénètre, remplit leurs interstices et se trouve partout en contact avec leurs éléments. A. Comte refuse d'admettre cet agent hypothétique et l'écarte avec un dédain mal justifié (*Cours de philos. posit.*, t. II, p. 440). Il serait impossible d'expliquer, sans l'intermédiaire de l'éther, les actions à distance des molécules et le rayonnement à travers l'espace de la force qui les anime. Par son aptitude à subir et à transmettre le mouvement, la substance éthérée, qui remplit les vides intercosmiques et les vides intermoléculaires, sert de lien aux plus grands amas comme aux moindres particules de matière. L'action réciproque de l'éther et de la substance pondérable permet seule de ra-

mener à des causes mécaniques les effets des forces soit molaires, soit moléculaires. Déjà, au xviii^e siècle, Euler avait eu recours à l'éther pour esquisser une théorie générale des actions physiques. Young et Fresnel ont ensuite expliqué par des vibrations de ce fluide les interférences de la lumière. De nos jours, Lamé et le P. Secchi ont particulièrement insisté sur le rôle de l'éther dans les phénomènes de modalité. On suppose que chaque molécule, par suite même de sa puissance de mouvement, tient sous sa dépendance une petite sphère d'éther et peut provoquer autour d'elle des zones de raréfaction ou de condensation, des tourbillons, des flux de substance éthérée d'où résulteraient, selon les cas, l'isolement, le contact, la pénétration ou l'écoulement de ces atmosphères. D'après M. Clausius, la sphère d'action des molécules, c'est-à-dire cette portion de l'espace où domine leur influence, serait huit fois plus volumineuse que les molécules elles-mêmes. Ainsi, dans un centimètre cube d'air, les molécules n'occuperaient que la 3000^e partie de l'espace et leurs sphères d'action la 400^e. Le surplus serait rempli par l'éther ambiant.

Quoique la petitesse des éléments moléculaires nous interdise, du moins dans l'état actuel de nos moyens d'observation, de constater *de visu* le mécanisme de leurs actions, les effets qui en sont la conséquence n'échappent pas à la perception et sont saisis sous forme de « modalités » ou de manières d'être. Ces apparences médiatees, expression collective de phénomènes séparément imperçus, révèlent dans les corps les résultantes dont le détail reste caché. Les effets de cohésion, de sonorité, de chaleur, de lumière, d'électricité et de magnétisme, nous ouvrent, par une voie détournée, l'accès de ce monde invisible. La science les appelle avec raison, non plus des « faits », comme en Dynamique, mais des « effets », parce que nous ne percevons d'eux que des aspects indirects qu'il faut interpréter pour en découvrir la cause.

Toutefois on doit se garder ici d'une illusion trop fréquente et presque inévitable au début. Comme les modalités sont perçues par divers sens, l'esprit est porté à présumer des catégories différentes de phénomènes et attribue chacune d'elles à quelque agent spécial. Il faut un effort de réflexion pour concevoir, sous la multiplicité des apparences sensibles, l'unité logique des actions moléculaires. La science n'a pas encore de terme qui serve à désigner la force générale et simple dont elles dépendent et, pour en donner idée, on est réduit à énumérer les agents hypothétiques auxquels on les a jusqu'à présent rattachés. La cohésion, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, ont été longtemps considérés comme des forces distinctes. Mais on ne peut plus méconnaître ce que les modalités ont de commun dans leur cause. Elles sont toutes l'effet plus ou moins complexe d'une seule force comparable par son extension à la gravité qui régit les masses et à l'affinité qui régit les atomes. Faute d'expression usuelle, nous l'appellerons « force physique », « force moléculaire » ou « molécularité ».

La difficulté de fixer le caractère essentiel des phénomènes physiques rendait malaisée à définir dans son ensemble la science qui s'en occupe. D'Alembert lui assigne pour fonction l'étude « des propriétés générales des corps » (*Système des connaissances humaines*). Mais une attribution pareille ferait rentrer dans le cadre de cette science, outre les modalités qui constituent son objet propre, les effets de la gravitation et ceux même de l'affinité. Biot a défini par exclusion la Physique « la science des modifications qui sont produites dans les corps et qui ne dépendent ni de l'affinité, ni de l'organisation » (*Traité de Physique*, 1816). Cette formule, trop vague encore et plus négative que positive, n'indique pas la nature des phénomènes en question et fait mieux voir ce qu'elle écarte que ce qu'elle comprend. La définition

proposée par A. Comte est également peu claire : la Physique, dit-il, étudie « les lois qui régissent les propriétés générales des corps, ordinairement envisagés en masse et constamment placés dans des circonstances susceptibles de maintenir intacte la composition de leurs molécules et même le plus souvent leur état d'agrégation. » (*Cours de philos. posit.*, t. II, p. 275.) Nous définirons simplement la Physique la science des actions moléculaires ou des modalités qui leur correspondent, c'est-à-dire des conditions des corps qui modifient leur manière d'être sans dénaturer leur substance.

C'est là un sujet nettement circonscrit, et les phénomènes physiques, ainsi caractérisés, ont une spécialité bien tranchée. Ils diffèrent des faits d'existence en ce qu'ils concernent, non plus des êtres mais des manières d'être, des états variables qui permettent aux choses de traverser des séries de modifications, sans compromettre leur identité réelle. Ils diffèrent plus encore des grandeurs mathématiques puisqu'ils consistent en effets sensibles et non en concepts abstraits. Enfin ils se distinguent des faits dynamiques par l'inégalité d'importance des masses en jeu et la disparité des modes d'action. D'un côté, les corps, pris à tous les degrés perceptibles de grandeur, sont toujours observables et la gravité agit en eux d'une manière uniforme; de l'autre, les molécules imperceptibles manifestent leur pouvoir d'action par des résultantes médiatees dont les aspects sont divers. La dissemblance de ces conditions rend nécessaires une étude à part et l'emploi d'une méthode distincte.

La généralité des phénomènes physiques est évidente de soi et n'admet pas de limites dans la nature. A. Comte, trompé par la théorie préconçue d'un ordre de particularité croissante entre les sciences, a présenté la Physique comme ayant moins d'extension que l'astronomie (t. II, p. 71).

C'est là une erreur flagrante contre laquelle l'auteur du *Cours de philosophie positive* aurait dû, semble-t-il, être prémuni, d'abord par la considération de ce fait que l'existence des astres nous étant signalée par leur lumière, cette constatation implique la production d'un effet physique; ensuite, par la définition même qu'il donne de la science des modalités. Lorsqu'on lui assigne pour objet la connaissance « des propriétés générales des corps », n'est-il pas illogique de soutenir qu'elle comporte une limitation quelconque? Les phénomènes dont traite la physique se manifestent dans tous les corps. A. Comte est bien forcé de le reconnaître en ce qui concerne la chaleur; néanmoins, il n'a pas le courage de renoncer à sa théorie, tant il est difficile de répudier l'erreur quand une fois on l'a épousée. Comme dans la plupart des ménages désunis, on aime mieux encore se quereller que se séparer. La méprise d'Aug. Comte, moins circonscrite qu'il ne le croit, porte sur la totalité des phénomènes physiques dont aucun ne souffre de restriction dans l'ensemble des choses. Quand on définit la Physique « la science des états moléculaires », il devient visible que, puisque tous les corps se composent de molécules, tous doivent avoir une condition moléculaire et rentrer par là dans cette étude. Partout donc où il est possible de percevoir des réalités, de mesurer leur grandeur et d'observer leurs situations, des modalités se produisent, il y a des phénomènes physiques à scruter. Nous voyons les modes les plus subtils de l'action moléculaire rayonner à travers l'espace et se faire sentir à des distances infinies. Des astres perdus dans les profondeurs du ciel et dont l'attraction est absolument inappréciable, ne laissent pas de nous envoyer de la lumière et même de la chaleur. La force physique est donc partout active dans l'univers. Des influences thermiques, lumineuses, électriques et magnétiques s'échangent entre les mondes et tiennent la masse de l'éther dans une agitation continue. Rien n'échappe à

l'empire de cette cause d'action et ses effets sont généraux au même titre que ceux de la gravitation, que les déterminations de la grandeur et que les notions d'existence.

En raison de ce double caractère de spécialité quant à leur nature et de généralité quant à leur extension, les phénomènes de modalité doivent constituer l'objet d'une science distincte, connue sous le nom de « Physique » (de φύσις, nature) que lui ont donné les Grecs. Mais cette dénomination, peu explicite, paraît annoncer une étude complète de la nature et conviendrait mieux à l'ensemble des sciences qu'à l'une d'elles. C'est en ce sens que l'entendaient les anciens quand ils opposaient la Physique et la Métaphysique. A. Comte trouve ce terme justifié par l'importance qu'a, dans la philosophie naturelle, la science ainsi désignée. Cependant, les autres ordres de connaissances ne lui cèdent guère à cet égard, et il nous semble téméraire de trancher au profit de l'un d'eux la question de prééminence. On pourrait donc souhaiter une dénomination moins vague qui indiquerait le trait caractéristique des faits de modalité. Nous proposons celui de « Poïologie » (de ποιόν, qualité, manière d'être, titre d'une des catégories d'Aristote). Néanmoins, comme le mot de Physique a une acception usuelle maintenant assez bien déterminée, il n'y aurait pas grand inconvénient à le conserver.

Il importe davantage de limiter nettement l'objet de la science aux seuls phénomènes moléculaires. L'ancienne Physique, conformément à son titre de « science de la nature », s'occupait d'une multitude de choses qu'on a successivement distraites de son étude pour les rattacher à d'autres sujets de recherche où elles sont mieux à leur place¹. Jusque dans des traités récents on constate des

1. Dans *le Bourgeois gentilhomme* (acte II, sc. 6), le maître de Philosophie, proposant à M. Jourdain de lui enseigner la Physique, définit ainsi cette science d'après les traités du temps : « la Physique est celle qui explique les principes des choses naturelles et les propriétés des corps ; qui discourt

traces persistantes de la confusion originelle. A. Comte a suivi docilement la routine en attribuant à la Physique les effets de la pesanteur qui ne résultent nullement d'une action moléculaire et relèvent de l'étude dynamique des masses. Il faut donc retrancher la barologie de la Physique où elle forme hors d'œuvre et la restituer à la Dynamique où son absence constituerait une lacune, puisque la théorie de la pesanteur est indispensable à l'établissement de ses lois. Dans le système d'Aug. Comte, l'astronomie, science mal conçue, ne pouvait pas admettre les recherches relatives à la pesanteur des corps terrestres, et l'auteur, ne sachant que faire de cette épave, l'a reléguée dans la Physique, moins par convenance que par expédient. En revanche, il n'a pas accordé aux phénomènes essentiellement moléculaires de la cohésion la place et l'attention que leur importance réclame. Il convient donc d'opérer dans le cadre de la science une double correction pour qu'il ne comprenne ni plus ni moins que l'ensemble des faits de modalité.

de la nature des éléments, des métaux, des minéraux, des pierres, des plantes et des animaux, et nous enseigne les causes de tous les météores, l'arc-en-ciel, les feux volants, les comètes, les éclairs, le tonnerre, la foudre, la pluie, la neige, la grêle, les vents et les tourbillons. » — M. Jourdain, trouve, non sans raison, qu' « il y a là-dedans trop de brouillamini. »

CHAPITRE II

PROGRAMME DE LA PHYSIQUE

La Physique n'a pas encore de programme raisonné. On distribue d'ordinaire les modalités en autant de séries qu'elles offrent d'apparences sensibles. Les phénomènes étant ainsi répartis d'après le genre d'impression qu'ils produisent sur nos organes, on étudie séparément les effets de la cohésion que perçoit le tact; le son, qui frappe l'ouïe; la chaleur, appréciable au sens thermique; la lumière, que révèle la vue; l'électricité, objet de sensations obtuses, et le magnétisme, sans action sur l'organisme. Par suite, la science se trouve scindée en un certain nombre de sections en rapport avec nos modes de perception et isolées comme eux dans une spécialité bornée. Ce système tout objectif de classement ne laisse pas reconnaître les degrés de complexité des faits, leurs analogies et leurs relations. Il ne tient aucun compte de la nature des actions moléculaires dont la considération devrait ici prédominer. La résistance, le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, ne représentent pas les vrais phénomènes de la Physique, mais seulement leur résultante indirecte, leur aspect sensible, et il faut interpréter ces données pour atteindre les faits véritables sur lesquels la perception n'a pas de prise. Nos impressions ne nous font plus immédiatement connaître, comme en Dynamique,

l'état réel des choses et n'en livrent qu'une traduction inexacte. L'expérience montre que le même phénomène peut influencer plusieurs sens : quand un courant électrique agit sur les nerfs de différents organes, il détermine dans chacun d'eux le genre de sensation qui lui est propre. Le tact perçoit alors une pression, le goût une saveur, l'odorat une odeur, l'ouïe un bruissement, la vue des lueurs. La cause est une et les effets sont divers. Ce seul exemple suffirait à infirmer le classement habituel des phénomènes physiques.

La sensation n'a pas qualité pour établir les divisions de la science, car elle ne révèle ni tous les ordres de modalités, ni le détail entier de chacun d'eux, ni leur vraie nature. Les effets de la cohésion n'impressionnent guère le toucher que dans les solides; ils sont presque inappréciables dans les fluides en repos. Il y a aussi une limite d'audibilité par les sons. Plus bornées encore, les perceptions thermiques ne peuvent embrasser que quelques degrés sur l'échelle sans fin des températures. Malgré la variété des sensations optiques, l'œil explore à peine la dixième partie de l'aire où se produisent les effets lumineux. Les impressions confuses qui déterminent en nous les phénomènes électriques sont tout à fait insuffisantes comme moyen d'investigation. Enfin, nul sens ne signale les phénomènes magnétiques. De plus, la perception n'ouvre aucun jour sur le mode d'action des forces moléculaires et conduit à présumer des causes aussi différentes que les effets. Ainsi divisée par empirisme plus que par raisonnement, la Physique se compose de fragments étrangers les uns aux autres et séparés par des lacunes dont on ne saurait mesurer l'étendue.

A. Comte, admettant sans critique ce principe défectueux de répartition, établit cinq sections dans la Physique, savoir : la Barologie, science de la pesanteur; la Thermologie, science de la chaleur; l'Acoustique, science

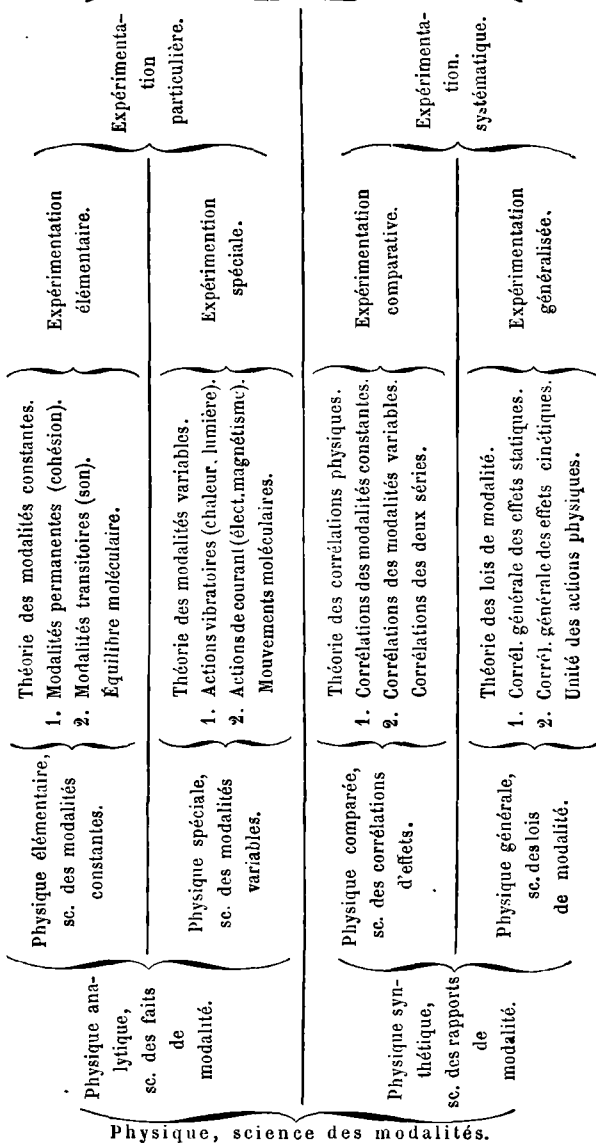
des sons ; l'Optique, science de la lumière, et l'Électrologie, science de l'électricité et du magnétisme. Une distribution pareille prête à plusieurs sortes d'objections. Elle mêle d'abord indûment à la Physique un sujet de recherche qui ne la concerne pas et que nous avons dû en retrancher pour le restituer à la Dynamique. Par contre, elle omet une classe entière d'effets physiques dont l'importance est très grande, les phénomènes de cohésion sans la connaissance desquels la théorie des actions moléculaires manquerait de fondement. Elle confond à tort dans une étude commune le magnétisme et l'électricité, alors qu'elle prend soin de séparer la chaleur et la lumière. En outre, elle range ces séries dans un ordre irrationnel quand elle intercale entre la Thermologie et l'Optique, sciences unies par le plus étroit rapport, l'Acoustique, dont les relations avec l'une et l'autre sont fort éloignées, tandis qu'elle se rattache par un lien direct à la cohésion. Enfin, A. Comte n'a pas institué de section distincte pour l'étude des corrélations physiques, ne prévoyant pas qu'un jour le problème de l'unité des actions moléculaires s'imposerait à la science.

Afin d'introduire un peu d'ordre dans ce chaos, appliquons à l'ensemble des phénomènes de modalité les règles de répartition dont nous avons exposé le principe au début de ce travail. Nous aurons à distinguer en Physique, comme dans les sciences qui précèdent, deux parties principales, l'une analytique, consacrée à l'étude des phénomènes considérés en détail ; l'autre synthétique, chargée de scruter leurs relations et de formuler leurs lois. Voyons comment devraient être subdivisées ces deux sections dont les physiciens n'ont guère jusqu'à présent abordé que la première.

Méthode d'expérimentation.

PHYSIQUE

SCIENCE DES MODALITÉS



Physique, science des modalités.

I

PHYSIQUE ANALYTIQUE

SCIENCE DES FAITS DE MODALITÉ

La classification naturelle des phénomènes physiques serait à fonder, non comme on le fait d'ordinaire, sur la considération de leurs aspects sensibles, mais sur la distinction raisonnée des modes de l'action moléculaire qui les déterminent. Les molécules étant, par définition, de même nature que les masses et ne différant d'elles que par la grandeur, il faut admettre, pour les unes comme pour les autres, deux états généraux, l'un fixe, l'autre variable, de collocation. Les applications de la force physique rentrent nécessairement dans un des deux cas suivants : ou les molécules des corps, liées par des actions constantes, gardent entre elles un ordre stable et, maintenues dans une sorte d'équilibre, produisent des modalités qui, d'elles-mêmes, ne changent pas ; ou, ébranlées par diverses influences, elles passent à une condition de mouvement que manifestent les modalités variables. Dans le premier cas, on a des effets simples, uniformes et permanents qui expliquent la constitution même de l'agrégat et font connaître ce que son ordre a de stable. Les phénomènes de ce genre représenteront pour nous les éléments de modalité et leur étude constituera la Physique élémentaire ou Statique des molécules. Dans le second cas, des actions complexes donnent lieu à des effets multi-formes, changeants, où se déploie ce que la manière d'être des choses a d'ondoyante diversité. Leur étude composera

l'objet de la Physique spéciale ou Cinétique moléculaire. Les phénomènes de modalité seront ainsi répartis, comme ceux de collocation des masses, en effets d'équilibre et en effets de mouvement. Leur analyse montrera jusqu'où s'étendent, malgré la disparité des conditions, les analogies que ce parallélisme permet déjà de pressentir.

Indiquons le détail des problèmes qu'auraient à résoudre les deux sections de la Physique analytique.

1. — PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE OU STATIQUE MOLÉCULAIRE

SCIENCE DES MODALITÉS CONSTANTES

THÉORIE DES MODALITÉS CONSTANTES

Les phénomènes physiques les plus simples résultent de rapports fixes entre les molécules des corps et déterminent pour eux des manières d'être durables sans lesquelles on ne pourrait ni les percevoir, ni les concevoir. Les modalités, en effet, ne sont sensibles que dans les masses, c'est-à-dire dans des agglomérations de molécules. Or, pour que ces agglomérations conservent la grandeur et l'aspect qui les particularisent, il faut que leurs éléments soient liés par des actions persistantes qui assurent la permanence du système. Il faut même que ces éléments, dérangés par circonstance de leurs positions d'équilibre, tendent à y revenir par une suite de réactions dynamiques, car, si aucune force continue ne les rattachait les uns aux autres ou si le moindre effort suffisait à les disperser, il n'y aurait que des assemblages fortuits et précaires dont les apparences s'évanouiraient à peine formées.

Les phénomènes grâce auxquels les corps, considérés comme agrégats de molécules, jouissent d'un état stable, constituent donc la donnée première, irréductible, que la science doit chercher d'abord à connaître, puisque, sans elle, l'existence même des corps serait un effet inexpliqué. Cette condition correspond pour les molécules à ce qu'est pour les masses celle d'équilibre. Non sans doute que l'assimilation soit exacte de tous points; les modes d'action diffèrent trop dans les deux cas pour qu'on puisse en iden-

tifier les résultats ou la formule. Le terme d'équilibre, appliqué à un état moléculaire, exprime seulement la constance de l'effet produit, ce que la manière d'être des corps a d'uniforme par opposition à ce qu'elle offre de changeant. Il caractérise une classe de modalités qui persistent d'elles-mêmes et ne sont troublées que par occurrence.

La condition statique des molécules doit avoir pour cause, comme celle des masses, une force qui leur est propre et dont la puissance, toujours en action, se faisant obstacle à elle-même, se neutralise quand elle s'exerce avec la même intensité en sens contraire, d'où résulte pour les éléments des corps un ordre fixe de collocation. Ainsi empêchée, la force, virtuelle ou pour mieux dire quiescente, est moins active que passive et se manifeste par des effets continus. C'est pourquoi on n'a pas imaginé d'« agents » spéciaux pour en rendre compte. Là pourtant gît le principe même de l'action physique.

Un autre caractère des modalités constantes est leur extension toujours très bornée. L'ordre de collocation que prennent spontanément les molécules s'explique par l'influence qu'elles exercent les unes sur les autres à de minimes distances. Le moindre intervalle appréciable, opérant entre elles une solution de continuité, empêcherait cette action de se produire et couperait par une lacune la série des effets. La force ne peut donc agir qu'à des distances intermoléculaires et diffère profondément de la cause des modalités variables qui, liée à l'agitation d'un milieu diffus et indéfini, ne connaît pas de limites. Cependant, quelque circonscrits que soient dans l'espace les effets des modalités élémentaires, ils peuvent être observés dans tous les corps et leur connaissance est indispensable pour aborder l'étude des modalités changeantes.

Les molécules comportent, comme les masses, deux conditions d'équilibre, l'une stable qui se résout en effets permanents de cohésion, l'autre instable que révèlent les effets transitoires du son. Étudions-les séparément.

PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE OU STATIQUE MOLÉCULAIRE

SCIENCE DES MODALITÉS CONSTANTES

PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE.

23

1. STASÉOLOGIE, SCIENCE DES EFFETS DE LA COHÉSION OU DE L'ÉQUILIBRE STABLE DES MOLÉCULES.		2. PHONOLOGIE, SCIENCE DES SONS OU DE L'ÉQUILIBRE INSTABLE DES MOLÉCULES.	
A. EFFETS DE LA COHÉSION DANS LES SOLIDES.		A. CONDITIONS GÉNÉRALES DES SONS.	
a. Effets permanents.	b. Effets occasionnels.	a. Intensité des sons.	a. Acuité des sons.
		b. Dans les liquides.	b. Timbre des sons.
		b. Dans les gaz.	
		B. QUALITÉS SPÉCIALES DES SONS	

1. — STASÉOLOGIE, SCIENCE DES EFFETS DE LA COHÉSION

Lorsque les molécules des corps cèdent librement à leurs actions réciproques, elles se disposent dans un certain ordre, à des distances déterminées les unes des autres, et forment des agrégats dont tous les éléments se tiennent. On appelle « cohésion » (de *coherere*, adhérer, être attaché) la puissance qui les unit. Toutefois, la cohésion n'enchaîne pas, comme le sens du mot porterait à le supposer, les molécules par un lien rigide. L'équilibre qui résulte de son influence n'implique pas plus l'immobilité réelle que la stabilité des masses n'implique leur repos absolu ; c'est un équilibre relatif, compatible avec des mouvements exécutés sur place ou à de très petites distances. L'aspect uniforme des corps nous trompe. Partout, même dans les plus immobiles en apparence, le mouvement s'accomplit et la permanence de sa condition est la cause de la fixité des états physiques.

La cohésion ou attraction moléculaire paraît être un mode de l'attraction universelle s'exerçant, non plus entre masses, à toute distance, mais entre particules, à de très courtes distances, et avec d'autant plus d'énergie que les centres d'action sont plus rapprochés. La cohésion constituerait ainsi un cas particulier de la gravité se produisant au point précis où les masses se résolvent en molécules. Le terme d'« attraction moléculaire », employé déjà par Newton, doit s'entendre, comme celui d'attraction universelle, dans le sens d'une pression exercée par l'éther et subie par la matière pondérable. Si, en effet, les molécules s'attiraient vraiment les unes les autres, on ne voit pas ce qui pourrait les arrêter dans leur tendance à se joindre et les empêcher de venir en contact. On explique mieux les choses par une action de l'éther ambiant sur les atmosphères des molécules. Chacune d'elles, étant animée d'un

mouvement plus ou moins rapide de rotation, doit produire dans l'éther avoisinant une sphère de raréfaction d'un rayon égal à celui de sa sphère d'influence. Il y a donc autour d'elle diminution de pression que l'éther ambiant tend à équilibrer en vertu de son élasticité générale. Du conflit entre ces deux forces également constantes, puisque la première se lie à la constitution des molécules et la seconde à celle de l'éther, résulte un état d'équilibre, c'est-à-dire un ordre stable de collocation qui persiste de lui-même et ne peut être troublé que par occurrence. Les divers états physiques s'expliqueraient par la pénétration, le simple contact ou l'indépendance des atmosphères éthérées. Ainsi soumises à deux influences contraires, à des pressions centripètes qui tendent à les rapprocher et à des réactions centrifuges qui tendent à les écarter, les molécules restent en place au point où les deux forces se balancent.

Plus puissante que la pesanteur qu'elle surmonte sans peine, la cohésion est dominée par la chaleur qui, précipitant le mouvement rotatoire des molécules, élargit la sphère d'éther qui tourbillonne autour d'elles et conséquemment les éloigne les unes des autres. Les états appelés physiques, l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux, marquent les principaux stades de la lutte d'influence entre la chaleur et la cohésion. Tous les corps sont susceptibles de traverser, à des températures déterminées, différentes conditions de stabilité ou d'instabilité moléculaire dont l'étude doit être constituée en section distincte de la Physique. Cette partie de la science, un peu négligée jusqu'ici, n'occupe pas dans les traités la place que son importance mérite et n'a pas reçu de désignation spéciale, alors que toutes les autres, l'Acoustique, la Thermologie, l'Optique et l'Électrologie voyaient confirmer par une dénomination particulière leur coordination et leur unité. Pour combler cette lacune, nous proposerions d'appeler « Staseologie » (δὲ στασις, arrêt, consistance), la science inno-

mée des effets de la cohésion. Ce terme aurait l'avantage de rappeler celui de Statique et d'indiquer par là une étude de l'équilibre des molécules.

Les recherches doivent porter d'abord sur la condition des solides où les effets de la cohésion sont le plus apparents, puis sur celle des fluides où ils se concilient avec une mobilité plus ou moins grande.

A. — De la cohésion dans les solides.

C'est dans les corps à l'état solide que la cohésion, s'exerçant aux moindres distances, sous l'influence des moindres températures, se manifeste avec le plus d'énergie. Prédominant alors sur la chaleur, elle distribue les molécules dans un ordre dont la stabilité assure la permanence de l'agrégat et oppose, entre certaines limites, une résistance efficace aux actions perturbatrices. Sa puissance n'agit ainsi qu'à des intervalles précis, d'une petitesse extrême, et, dès que les particules des corps sont séparées par un espace appréciable, la cohésion cesse de les lier. Quand un solide a été brisé ou réduit en poudre, il ne suffit pas d'en affronter les morceaux ou d'en comprimer la poussière pour que ses débris s'unissent avec la même force qui les enchaînait auparavant, parce que le simple contact des surfaces est impuissant à rétablir dans leur juste rapport les distances intermoléculaires. L'ordre de collocation qui détermine la solidité se produit spontanément sous l'empire de la cohésion, au moment où les corps changent d'état, leurs éléments prenant alors d'eux-mêmes, par l'effet de réactions mutuelles, l'arrangement le plus propre à leur équilibre commun. On présume que les molécules, appelées à se rapprocher par un abaissement de température qui ralentit leur vitesse de rotation, empiètent réciproquement sur leurs sphères d'activité, de sorte que les petites atmosphères d'éther dont elles sont enveloppées se pé-

nètrrent en partie. Les mouvements des molécules doivent alors se coordonner de manière à établir le parallélisme de leurs axes et le synchronisme de leurs rotations. Certaines propriétés optiques et magnétiques des solides prouvent en effet que les mouvements de leurs molécules s'accomplissent dans des temps égaux. La pénétration partielle des tourbillons moléculaires et la solidarité qui en résulte constituent le lien par lequel les particules des corps sont unies en agrégats stables et susceptibles d'osciller toutes ensemble comme un système unique.

Les effets de la cohésion dans les solides comprennent, d'une part les propriétés permanentes de dureté, de rigidité, de ténacité; de l'autre, les propriétés occasionnelles d'élasticité, de malléabilité, de ductilité.

a. — La puissance qui maintient les molécules des solides dans un ordre fixe est souvent considérable. On l'évalue par la force de résistance que les corps opposent à la pression, aux chocs, au frottement, à la flexion, à l'étirement, à la rupture, à l'arrachement et à l'écrasement. Les diverses substances peuvent différer beaucoup à cet égard.

On appelle « dureté » la propriété qu'ont les solides de résister aux actions qui tendent à les diviser. Faute de moyens pour en prendre directement la mesure, on l'apprécie par comparaison, en faisant réagir les corps les uns contre les autres. Ils se classent ainsi sur une échelle où l'on distingue dix degrés, depuis le talc, qui est rayé par tous les corps, jusqu'au diamant (de ἀδάμας, indomptable), qui ne se laisse rayer par aucun et n'est entamé que par lui-même.

La « rigidité » ou résistance aux flexions est en général la plus grande chez les cristaux; néanmoins, elle dépend du volume, car le verre, cassant en masse, devient, réduit en fils fins, assez flexible pour pouvoir être engagé dans des tissus. La « ténacité » ou résistance à la traction caractérise plutôt les métaux. Le fer est le plus tenace de tous. Un

fil de 2 millimètres de section supporte sans se rompre un poids de 250 kilog. Un fil de cuivre de même grosseur ne supporte que 137 kil; d'or, 68; d'étain, 15; etc.

b. — Les molécules des solides ne sont pas tellement fixées par la cohésion qu'elles ne puissent céder en partie à l'action des forces qui les sollicitent et se déplacer plus ou moins sans se disjoindre. Elles prennent alors des situations nouvelles, soit transitoires, soit durables.

Chez les corps doués d'« élasticité », les molécules ont le pouvoir de se déplacer les unes par rapport aux autres sans sortir de leurs sphères réciproques d'action, de sorte que, la cause qui les dérange venant à cesser, elles reprennent leurs positions antérieures sous l'influence de la cause qui les leur avait assignées et qui est constante alors que la cause perturbatrice est momentanée. Dans ce cas, la cohésion, s'exerçant entre des limites virtuelles, tend à ramener les molécules à leurs distances moyennes ou, en d'autres termes, à rétablir leur équilibre normal. Les gaz et les liquides ont une élasticité parfaite : comprimés, ils reprennent, dès que cesse la pression, le volume qu'ils avaient auparavant. Les solides, au contraire, ont tous une limite d'élasticité qui varie selon leur nature et, ce terme dépassé, les molécules ne reviennent pas à leurs positions premières. Alors, les cristaux se brisent, les métaux plient. L'élasticité agit dans les faits de pression, de flexion, de torsion et de traction. Colladon, Sturm et Savart en ont déterminé la mesure pour une série de substances.

Les corps malléables ou ductiles cèdent aussi à des pressions; mais, au lieu de reprendre, comme les corps élastiques, leur forme antérieure, ils conservent celle qui leur a été donnée. La malléabilité est surtout développée dans les métaux. Le plomb, l'étain, le fer, principalement l'or et l'argent, la possèdent à un haut degré. La ductilité désigne la facilité avec laquelle certains corps se laissent étirer au laminoir ou à la filière. Elle s'accorde souvent

avec la malléabilité sans se confondre toujours avec elle.

La théorie des effets de la cohésion dans les solides est fort incomplète. On ne sait à quelle cause précise attribuer leur diversité. Les propriétés spéciales qui en résultent pour les corps seraient à scruter dans toutes sortes de substances, à tous les degrés des températures qu'elles sont susceptibles de traverser sans changer d'état. Les variations de la cohésion et les entre-croisements de ses effets devraient être rattachés à des conditions de mouvements moléculaires. Là se posent des séries de problèmes à résoudre.

B. — De la cohésion dans les fluides.

La cohésion, puissante dans les solides, maintient leurs molécules à des distances et dans un ordre qui varient peu et difficilement. Un moindre degré de la même force suffit encore à provoquer entre les molécules des fluides une adhérence partielle, mais n'a plus assez d'énergie pour leur imposer une collocation fixe. Les solides seuls jouissent à cet égard d'un équilibre constant. Les fluides ne connaissent qu'une stabilité précaire et nous retrouvons ici une différence analogue à celle qui, en Statique, sépare les corps à forme invariable de ceux à forme changeante. Il y aurait de même à examiner deux cas, suivant que les corps sont liquides ou gazeux.

a. — La liquidité caractérise un état de demi-cohésion dans lequel les molécules, liées par de faibles adhérences, glissent sans se détacher les unes autour des autres, par un mouvement tangentiel, lorsqu'une cause minime d'action ou leur propre pesanteur les sollicite. Ce mode atténué de cohésion est dû à ce que, entre certaines limites de température, l'action attractive des molécules

et l'action répulsive de la chaleur se neutralisent à peu près. Les molécules des liquides, plus distantes que celles des solides, comme en témoigne la moindre densité sous le même volume des solides liquéfiés, ne se trouvent plus assez rapprochées pour que la pénétration de leurs atmosphères les contraigne à coordonner leurs mouvements. Les tourbillons éthérés, incapables de devenir solidaires, à cause de l'indépendance de leurs rotations, et néanmoins de se disjoindre parce que la cohésion, quoique affaiblie, suffit encore à les retenir, ne font plus que s'effleurer et leurs axes prennent des orientations diverses. Les molécules tournent alors en tous sens les unes autour des autres suivant des courbes fermées. On a la preuve que des mouvements pareils s'accomplissent incessamment au sein des liquides, même quand ils semblent être le mieux en repos, car si l'on verse dans une cuve d'eau tranquille quelques gouttes de teinture d'iode, la masse entière ne tarde pas à se teindre d'une couleur bleue uniforme, indice d'une agitation qui, de proche en proche, a gagné toutes les molécules et changé leur ordre de collocation. Ce phénomène, connu sous le nom de « diffusion », montre que l'instabilité des liquides, cédant à des influences inappréciables, impose à leurs éléments la loi d'une mobilité continue.

L'adhérence qui unit les molécules des liquides est assez forte pour les maintenir dans des positions contraires à l'action de la pesanteur, comme on le voit par l'exemple de gouttes suspendues. Toutefois, on n'aurait pas ainsi la mesure de la puissance qui les enchaîne. On en juge mieux par la résistance que doit vaincre la chaleur pour séparer les molécules d'un liquide et les contraindre à se disperser sous forme de gaz. Cette résistance, représentée par la chaleur latente que les corps absorbent quand ils se vaporisent, équivaut pour l'eau, d'après M. Hirn, à une pression de 27 000 atmosphères.

Il y aurait lieu de distinguer, dans l'étude de la cohésion

des liquides, divers degrés d'adhérence moléculaire en rapport avec la nature des substances et la température de fusion. Les corps qui, comme les pierres et les métaux, exigent une chaleur intense pour changer d'état, gardent en général une consistance pâteuse dont se rapprochent les corps visqueux. Les gaz récemment liquéfiés à de très basses températures (de -78° à -300°) ont au contraire une mobilité prodigieuse. A côté d'eux, l'alcool et l'éther paraissent épais.

b. — Les états solide et liquide, les mieux caractérisés au point de vue de la cohésion et les plus faciles à expérimenter, ont été les premiers connus. L'état gazeux, moins manifeste pour le toucher comme pour la vue et moins aisé à produire ou à étudier, est une condition des corps dont la généralité n'avait pas aussi nettement frappé les anciens, car leurs langues manquaient de terme pour le désigner autrement que par la qualification vague d'« air ». Le mot de « gaz » (de l'allemand *Gast, Geist*, esprit) a comblé cette lacune à une date assez récente. Il fut introduit dans la science par Van Helmont vers 1600 et bientôt universellement employé. La conception dynamique de l'état gazeux et de ses lois ne remonte pas plus haut que le xvii^e siècle. On doit à Daniel Bernoulli (*Hydrodynamica*, 1738, p. 20) l'hypothèse la plus plausible sur la constitution des fluides aériformes. Sa théorie, développée de nos jours par Clausius, tient les gaz pour un système discontinu de molécules indépendantes qui, au lieu de tourner les unes autour des autres, comme elles font à l'état liquide, sont mues par une impulsion énergique et, n'obéissant plus qu'à la force de projection, se heurtent et rebondissent. On pourrait comparer leur assemblage à un essaim de projectiles lancés dans toutes les directions, se choquant sous des incidences diverses et réagissant avec une élasticité parfaite. La résultante de ces mouvements détermine dans la masse une force expansive dont la tension augmente.

avec la température et a pour effet de dilater les corps sous pression constante ou d'accroître la pression sous un volume constant. On admet que les molécules gazeuses, écartées par la chaleur au point de n'avoir plus leurs atmosphères en contact (la densité des gaz étant de 5 à 16 000 fois moindre que celle des liquides), se trouvent affranchies de toute dépendance mutuelle et suivent la loi de leur propre mouvement. Elles doivent néanmoins subir, au moment où elles se choquent, l'influence passagère de la cohésion, et l'on explique par cette cause les perturbations qu'éprouve la loi dite de Boyle ou de Mariotte. La compression nécessaire pour maintenir les gaz sous un volume déterminé tient lieu de cohésion aux molécules et fait obstacle à leur diffusion. La pesanteur remplit un office analogue en ce qui concerne l'atmosphère et l'empêche de se répandre dans l'éther ambiant par l'effet de son élasticité.

Tels sont les trois états physiques sous lesquels se présentent ou que sont susceptibles de traverser, dans les limites assignées à nos expériences, tous les corps que nous connaissons. Mais d'autres états, encore ignorés ou mal connus, pourraient se produire sous l'influence de pressions soit excessives, soit presque nulles. Ainsi les matériaux situés à l'intérieur de la terre y subissent, par le fait de la pesanteur, des pressions croissantes qui, lorsqu'elles atteignent certaines limites, doivent modifier les effets de la cohésion. On évalue à 3 000 000 d'atmosphères ou 3 000 000 de kilog. par centimètre carré le poids que supportent les corps placés vers le centre du globe. Quelle condition moléculaire est capable de résister à une force pareille, alors que les roches les plus dures se pulvérisent sous une pression de 2 à 3000 atmosphères et les métaux sous une pression double ou triple? On l'ignore. Peut-être y a-t-il là un état physique particulier, qu'on pourrait appeler « ultrasolide », où toute élasticité disparaîtrait.

La matière, atteignant dans les couches profondes des masses cosmiques son maximum de condensation, ne serait alors ni liquide, ni solide, mais dans un état non défini où, complètement rigide et absolument incompressible, elle prendrait un volume fixe et un ordre invariable par lesquels serait le mieux assurée la stabilité des mondes.

Transportons-nous à l'autre extrémité de l'échelle des densités et demandons-nous ce que deviennent les gaz sans pression, dans une condition qui doit se rencontrer vers la limite où notre atmosphère finit. Là, encore, nous pouvons entrevoir un autre état de la matière auquel, dès 1816, Faraday avait donné le nom de « matière radiante » (titre d'une de ses leçons sur les propriétés générales de la matière), et que M. Crookes a récemment étudié (*Conférences* à Sheffield, 1879, et à Paris, 1880). La matière passerait à l'état radiant ou « ultra-gazeux » dans les gaz très raréfiés dont les molécules, trop distantes pour subir des collisions fréquentes qui brisent à tout moment leurs trajectoires, arrivent à une sorte d'isolement dynamique et se meuvent sans obstacle en ligne droite (d'où le terme de « radiant »), sur des parcours assez longs pour qu'on puisse négliger l'influence des chocs. Lorsque, par exemple, la pression est réduite à $1/1,000,000^e$ d'atmosphère, les molécules franchissent librement une distance de 1 centimètre, dix millions de fois supérieure à leurs dimensions. Il n'y a plus alors d'agrégat. En cet état, les gaz produisent, outre des effets mécaniques révélés par les radiomètres, des effets calorifiques, lumineux, électriques et magnétiques dans des conditions spéciales dont l'ensemble rend l'état radiant presque aussi distinct de l'état gazeux sous pression que celui-ci l'est de l'état liquide.

On pourrait prolonger encore en idée la série des états physiques. Comme ce que nous appelons matière se réduit à la perception d'un mode de mouvement, la disparition du mouvement moléculaire, à la limite qui marque le 0 absolu des physiciens, entraînerait celle de la matière

elle-même. Est-il permis de donner le nom de matière à la substance des comètes amenée dans leurs queues à un tel point de raréfaction que Babinet a pu l'évaluer, par rapport à l'air, à une fraction dont le numérateur serait l'unité et le dénominateur un nombre composé de 125 chiffres? Enfin, il serait possible que l'éther constituât un dernier état dont les gaz ne nous offriraient qu'une apparence grossière et qui supprimerait les propriétés sensibles de la matière en opérant la disgrégation absolue de ses éléments...

Ainsi la cohésion manifeste inégalement sa puissance dans les divers états des corps. Énergique dans les solides, faible dans les liquides, elle est presque nulle dans les gaz. Chez les premiers, son influence prévaut sur celle de la chaleur et maintient les molécules en place; les deux forces se balancent à peu près chez les seconds, où les molécules sont à la fois liées et mobiles; enfin, chez les derniers, la chaleur l'emporte sur la cohésion et le mouvement répulsif sur l'attraction moléculaire. En conséquence de conditions si dissemblables, les solides seuls ont des formes constantes. Les liquides par leur inconsistance et plus encore les gaz par leur diffusion sont incapables d'imposer à leurs éléments un ordre fixe de collocation. A mesure que les corps descendent ces degrés, leurs propriétés physiques s'atténuent et se réduisent. Les solides sont à cet égard le plus richement doués et c'est sur eux que porte de préférence l'étude expérimentale des modalités. Quand on passe des solides aux liquides, la dureté, la plasticité disparaissent; une translucidité communément incolore remplace l'opacité et la couleur. Lorsque, ensuite, on va des liquides aux gaz, la constance du volume et la variété des attributs se perdent, ne laissant guère subsister que des qualités uniformes de transparence et d'élasticité. Enfin, l'état radiant réalise l'extrême simplification de la matière pondérable et n'est plus caractérisé que par des propriétés dynamiques (Bence Jones, *Vie et*

correspondance de Faraday, t. I, p. 108). Ce dernier vestige s'évanouit à son tour dans l'éther dont la masse indistincte n'est saisissable pour nous par aucun trait de différenciation.

2. — PHONOLOGIE, SCIENCE DES MODALITÉS TRANSITOIRES (SONS).

La partie de la Physique consacrée à l'étude des sons porte le nom d'« Acoustique » (*ἀκουστικός*, de *ἀκούειν*, entendre); mais cette désignation semble se référer aux sensations perçues et annoncer une explication physiologique de l'audition plutôt que l'analyse d'un mode d'action moléculaire. Une terminologie rationnelle devrait employer de préférence le mot de « Phonologie » (de *φωνή*, son) qui vise le fait général, ou celui de « Palmologie » (de *πάλμος*, vibration), qui en indique la cause. Le son ne représente en effet que l'aspect sensible du phénomène et il faut traverser cette apparence, non s'y arrêter, pour atteindre le phénomène réel qui consiste en vibrations. L'oreille est simplement un appareil spécial apte à les traduire en impressions auditives; mais on peut les constater par d'autres moyens et, de nos jours, la science des sons, à laquelle ne convient plus le nom d'« Acoustique », a été transformée par d'ingénieux artifices qui, transposant le mode de perception, remplacent l'ouïe par la vue. Les procédés optiques de M. Lissajous, les flammes vibrantes de Kœnig, les figurations graphiques des ondes sonores, etc., substituent aux données du moins explicite de nos sens les informations du plus exact. On doit donc n'attacher qu'une importance secondaire au fait de la sensation et marquer plus nettement la place et le rôle des phénomènes dans la théorie physique.

Lorsque l'action de la cohésion n'est troublée par aucune force étrangère, ses effets persistent sans fin d'eux-

mêmes dans la condition donnée; mais considérons le cas où l'équilibre des molécules est dérangé par une cause accidentelle, capable de les agiter avec plus ou moins d'énergie, sans néanmoins les arracher au système dont elles font partie, ni même changer, autrement que d'une façon passagère et dans d'étroites limites, leurs situations respectives. Sous l'empire de la cohésion qui les retient, elles tendent à reprendre leur ordre de collocation, comme un corps qui a perdu la stabilité de son équilibre y revient de lui-même par une série d'oscillations ou une phase momentanée de mouvement. Le son signale à l'ouïe les perturbations transitoires qu'éprouvent alors les molécules dans l'agrégat, perturbations qui, le plus souvent, échappent au toucher et à la vue. Il est donc la manifestation d'un état particulier d'équilibre qui se lie aux effets de la cohésion et les modifie pendant un court intervalle de durée. La condition qu'il révèle n'est plus un état d'équilibre stable, puisque les molécules, au lieu de rester en place, oscillent et vibrent; ce n'est pourtant pas encore un mouvement véritable, parce qu'elles s'écartent peu de leur position d'équilibre et reviennent par degrés à leurs distances normales. Le son correspond conséquemment à l'état d'équilibre instable, et son étude, sur la place de laquelle tant de physiciens se sont mépris, rentre dans la Statique moléculaire.

Plusieurs causes peuvent produire le phénomène du son. La plus fréquente est une action mécanique, c'est-à-dire un choc ou un frottement; mais toute force capable d'agiter les molécules avec assez de puissance, comme la chaleur ou l'électricité, fait également résonner les corps. Prenons le cas le plus ordinaire, celui où deux masses s'entrechoquent. Leur conflit ne se borne pas à déterminer une réaction dynamique; une partie de la force se change en action moléculaire, « à peu près, dit Leibniz, comme lorsqu'on change la grosse monnaie en petite » (5^e *Lettre à Clarke*, édit. Erdmann, p. 775). Les molécules atteintes

par la violence du coup cèdent sous l'effort qui les ébranle, pèsent sur les molécules voisines et leur communiquent la cause d'agitation qui se propage de proche en proche dans tout le système, puis gagne les corps voisins. Les molécules, ainsi dérangées de leurs positions d'équilibre, mais retenues par la cohésion, tendent, par un effet d'élasticité, à revenir à leur situation antérieure. Toutefois elles ne réussissent pas de prime-abord à s'y replacer, parce que la vitesse de réaction les entraîne au delà. Elles s'en rapprochent peu à peu par un mouvement de va et vient. De là résulte une série de « vibrations » dont chacune se compose de deux oscillations, l'une d'aller, l'autre de retour, tout à fait comparables aux oscillations d'un pendule et ramenés par le calcul à la même loi. Quoique les anciens n'aient ignoré ni la propagation successive du son dans l'air, dont la mention se trouve dans Aristote, ni même la ressemblance de ses ondes avec celles de l'eau, car cette assimilation est indiquée par Vitruve, la nature du mouvement ondulatoire ne fut bien connue que vers l'époque de Newton. C'est depuis lors seulement que la science en a opéré l'analyse et donné l'explication.

Le son est, du moins virtuellement, un phénomène général au même titre que les effets de la cohésion dont il procède et dont il fait connaître les perturbations passagères. Comme l'équilibre instable des masses, il n'a pas de permanence, parce qu'il dépend de causes accidentelles et sans durée. On doit cependant éviter de le confondre avec le vrai mouvement moléculaire qui se traduit en modalités variables. Si le son, opposé aux effets uniformes et fixes de la cohésion, paraît avoir quelque chose de mobile et de changeant, comparé aux effets de la cinétique moléculaire, il n'a pas la puissance d'expansion et la mutabilité qui caractérisent les phénomènes thermiques, lumineux, électriques et magnétiques. Tandis que ceux-ci, dus à des modes essentiellement actifs de mouvement, se propagent au loin, se modifient par influence et ne disparaissent

jamais entièrement, le son est éventuel, circonscrit et passager. Il résulte d'un trouble occasionné par circonstance, s'affaiblit à mesure que la force perturbatrice se disperse et ne tarde pas à s'évanouir. La décroissance des sons atteste que, dans la masse vibrante, l'ordre se rétablit par degrés et le silence est l'indice du retour des molécules à une condition de stabilité. Le son, passif de sa nature, ne s'entretient pas de lui-même et cesse vite de se faire entendre quand sa cause a cessé d'agir. Enfin, quoique les ondes sonores aient incomparablement plus de portée que les effets de la cohésion, puisqu'elles se transmettent à travers des séries de corps jusqu'à des distances relativement considérables, leur sphère de diffusion reste toujours limitée, du moins pour la sensation. Les bruits les plus éclatants ne sont jamais entendus très loin et, sans qu'on puisse dire où les vibrations s'arrêtent, sans qu'on ait le moyen de suivre leur décroissance dans la masse du globe, on a le droit d'affirmer qu'en aucun cas cette cause d'action ne pourrait franchir les espaces interstellaires, parce que les effets de sonorité, inséparables de ceux de cohésion, exigent la présence de milieux matériels et s'éteignent dans le vide, tandis que les vrais mouvements moléculaires, en relation avec les modes d'agitation de l'éther, se communiquent d'un monde à l'autre jusqu'à des distances infinies et mieux encore dans le vide qu'à travers les corps. Le son se rapproche donc beaucoup plus des effets de la cohésion que de ceux dont la cause est attribuée à des « agents » physiques. La constance virtuelle du phénomène résulte de ce que son origine se lie à des propriétés persistantes d'élasticité grâce auxquelles les corps conservent leur aptitude à produire les mêmes sons, sous l'influence d'ébranlements pareils, tant que leur état de cohésion n'est pas modifié. En outre, dans un corps qui résonne, le rythme vibratoire se maintient un temps sans perdre ses conditions d'isochronisme.

Parmi les nombreux problèmes dont s'occupe la science

des sons nous devons nous borner à examiner ici ceux qui concernent, d'abord, les conditions générales de leur production; ensuite, les qualités spéciales d'où provient leur diversité.

A. — Conditions générales des sons.

L'étude méthodique des sons considérés dans ce qu'ils ont de général et de plus simple, doit scruter, d'une part, leur intensité en rapport avec la puissance de l'ébranlement et la distance au centre de son action; de l'autre, leur mode de propagation dans les milieux moléculaires.

a. — La force ou intensité des sons tient à l'amplitude des mouvements qu'exécutent les molécules des corps, c'est-à-dire à la distance qui sépare les positions extrêmes de chaque molécule vibrante. Dans une masse qui résonne sous un choc, les couches moléculaires éprouvent des condensations et des raréfactions alternatives dont l'étendue dépend de l'impulsion initiale. Plus une corde tendue est écartée de sa position d'équilibre, plus ses vibrations ont d'ampleur et de puissance d'effet. Comme le mouvement se transmet de proche en proche aux tranches de molécules successivement refoulées en deux sens contraires, il affecte la forme d'ondes dont on trouve une image dans celles que la chute d'un corps produit à la surface de l'eau.

L'intensité du mouvement vibratoire est à son maximum aussitôt après le choc, au centre même de l'ébranlement, et décroît jusqu'au minimum perceptible, à mesure que le son s'éloigne et se disperse. Le temps qu'il met à s'évanouir varie selon la nature des substances et sert d'indice à leur élasticité. L'atténuation des sons est en raison inverse du carré de la distance au centre d'ébranlement. Lorsque, en effet, les vibrations se propagent en tous sens

dans un milieu homogène, elles doivent mettre en mouvement des zones de plus en plus considérables de matière, ce qui diminue progressivement leur puissance. Quand, par exemple, elles atteignent une distance double, leur force se trouve répartie sur une surface sphérique quadruple et l'intensité réduite, non à $1/2$, mais à $(1/2)^2$ ou $1/4$. Toutefois, cette loi n'est exacte qu'à l'air libre. Elle n'a pas d'application dans les milieux clos et, lorsque le son se propage dans des tubes où sa diffusion latérale est empêchée, l'onde se transmet à de notables distances sans perdre sensiblement de son intensité.

La science ne possède pas encore de moyen pour mesurer avec précision la force relative des sons et le défaut de phonomètre laisse subsister une lacune fâcheuse dans l'étude de cette importante donnée.

b. — Les vibrations des corps ne sont perçues par l'ouïe qu'à condition de lui être transmises sous forme d'ondes sonores par un milieu d'une densité appréciable, car, dans le vide, elles se produisent sans bruit. Leur vitesse de propagation dépend de la nature des milieux. Deux cas sont à examiner suivant que le milieu est homogène ou hétérogène.

Dans un milieu homogène, le son se transmet uniformément, mais moins vite dans les gaz que dans les liquides et dans les liquides que dans les solides. Sa vitesse qui, dans l'air à 0, est de 332 mètres par seconde, s'accroît avec la température d'environ 0^m,60 par degré centésimal et atteint 347^m,50 à 26°,6. Elle se réduit à 317 mètres pour l'oxygène à 0, à 261^m,50 pour l'acide carbonique, etc. Dans les liquides, elle varie de 1159 mètres pour l'alcool, à 1435 pour l'eau et 1979 pour une solution de chlorure de calcium. Enfin, dans les solides, à la température de 20°, la différence va de 1228 mètres pour le plomb à 5,127 pour le fer (Tyndall, *Le Son*).

Les phénomènes d'écho et de résonance sont dus à la

réflexion des ondes sur les surfaces. Le premier se produit lorsque le son se répète d'une manière distincte et le second lorsque les sons réfléchis se confondent avec les sons directs. La répercussion des sons s'opère suivant la loi générale de l'égalité entre les deux angles d'incidence et de réflexion. Enfin, quand l'onde sonore passe obliquement d'un milieu dans un autre dont la densité diffère, sa direction se brise par un effet de réfraction.

Ainsi la force accidentelle qui ébranle les molécules et détermine les sons se disperse en tous sens autour de son centre d'action, va plus ou moins loin selon sa puissance, plus ou moins vite selon la nature des milieux, mais s'affaiblit par degrés et, au bout de peu d'espace comme en peu de temps, cesse de se faire sentir.

B. — Qualités spéciales des sons.

Après les effets qui sont communs à tous les sons, il convient d'examiner ceux qui les différencient et servent à les caractériser. Les uns dépendent du nombre des vibrations dans un temps donné, d'où résulte la hauteur des sons; les autres sont dus à des entrecroisements d'ondes et constituent le timbre des sons.

a. — La hauteur ou acuité des sons exprime la vitesse avec laquelle les vibrations se succèdent dans un intervalle déterminé. Les oscillations d'un pendule sont en rapport avec la longueur de sa tige et, plus on la raccourcit, moins les battements ont de durée. Les vibrations des molécules obéissent à la même loi et leur nombre, dans une corde, est inversement proportionnel à sa longueur. D'après Helmholtz, l'échelle des sons perceptibles pour l'oreille humaine s'étend de 16 à 38,000 vibrations par seconde. Kœnig est allé jusqu'à 50,000. Mais ce sont là les limites de nos sensations, non celles du phénomène. Dans ce qui

pour nous, représente le silence, au-dessous de 16 et aux dessus de 38 à 50,000 vibrations par seconde, des séries de mouvements se produisent, à la lenteur ou à la vitesse desquels on ne saurait assigner de bornes. Les insectes paraissent percevoir, à l'aide de leurs antennes, si délicatement conformées, des sons légers, des stridulations aiguës, insaisissables pour notre ouïe plus grossière. Peut-être ont-ils une échelle auditive différente de la nôtre. On remarque, en effet, que la détonation d'une arme à feu n'impressionne pas les abeilles, alors que, par un bruissement insensible, la reine met toute la ruche en émoi. Il serait donc possible de prolonger par hypothèse la suite des sons et de concevoir, d'un côté, la lenteur des plus graves accrue jusqu'à se confondre avec les effets permanents de la cohésion ; de l'autre, la vitesse des plus hauts accélérée au point de confiner à l'action thermique. Nous ne percevrions ainsi qu'une faible part des vibrations effectives et nous serions réduits à un lot de sons moyens. L'ouïe n'est pourtant pas un sens imparfait. Elle embrasse même beaucoup plus que la vue, car nos impressions optiques se bornent à une octave de couleurs et les vibrations lumineuses les plus rapides dépassent à peine du double les plus lentes, tandis que l'oreille parcourt au-delà de onze octaves de sons dont les plus aigus excèdent 2000 fois les plus graves. Toutefois, les sons admis en musique sont limités à sept octaves et vont de 41 vibrations par seconde (*mi* de la contrebasse) à 4,752 (*ré* de la petite flûte). La voix humaine a pour extrêmes 65 et 1044 vibrations par seconde.

Lorsque les ondes sonores se succèdent irrégulièrement et forment des séries de sons qui se mêlent, on a un bruit, c'est-à-dire une sensation discontinue qui représente pour l'oreille un chaos musical. Les sons de ce genre, quoique l'ouïe en discerne de bien des sortes, restent confus et non classés. Les recherches de la science portent exclusivement sur les ondes qui, disposées en série unique et formant une succession régulière, pro-

duisent une sensation continue, caractéristique du son musical. On devrait, semble-t-il, distinguer autant de sons spéciaux qu'il peut y avoir de vibrations dans un intervalle donné ; mais l'ouïe est surtout sensible à des « tons » qui correspondent à certains nombres dont la suite compose notre échelle musicale. La détermination de ces tons résulte d'une aptitude de l'oreille à filtrer les sons et à vibrer de préférence à l'unisson de ceux qui correspondent aux quantités voulues de vibrations. C'est là, sans doute, une donnée physiologique plutôt que physique. Cependant la série des tons a ses lois. Lorsqu'ils montent de degré en degré suivant une progression arithmétique, le nombre des vibrations augmente en progression géométrique. La hauteur des tons est donc proportionnelle au logarithme du nombre des vibrations. Dans les cordes qui vibrent, l'émission des sons est régie par les lois suivantes : la vitesse des vibrations est inversement proportionnelle à la longueur et au diamètre de la corde ; elle est inversement proportionnelle à la racine carrée du poids de la corde et à celle de la densité ; enfin, elle est directement proportionnelle à la racine carrée de la tension (Tyndall, *Le Son*, p. 115, 9).

b. — Le timbre ou couleur des sons constitue ce qu'ils ont de plus particulier, leur caractère propre et, pour ainsi dire, leur individualité. Il est dû, comme l'a montré Helmholtz (*Théorie physiologique de la musique*, 1^{re} partie ch. v et vi), à la coexistence de la note fondamentale, c'est-à-dire du ton, et de notes consonnantes de moindre intensité, appelées « harmoniques supérieures » ou « hyper-tons ». Leur origine est attribuée à des vibrations secondaires, de 2 à 10 fois plus rapides, en rapport avec la forme ou la nature des corps et comparables aux ondes qui, répercutées à la surface d'un bassin quand elles en touchent les bords, reviennent sur elles-mêmes, s'entrecroisent et produisent des combinaisons variées. De même,

quoique les ondes sonores tendent à se propager du corps qui vibre dans les corps voisins, une partie de la force reste dans sa masse, se réfléchit intérieurement à sa surface et développe des séries d'ondes dérivées qui se confondent avec l'onde primitive. Le timbre est donc un ton composé qui se modifie suivant des courbes complexes et ajoute au ton principal un groupe de tons harmoniques. Les instruments qui, comme le violon, font entendre le plus de sons à la fois, possèdent le timbre le plus plein et le plus riche. On explique également par des différences de timbre la variété des voyelles émises par la voix humaine.

Chaque corps a son timbre propre et l'art musical exploite les sonorités variées que met à sa disposition la facture instrumentale. On n'a pas encore classé méthodiquement les timbres. Peut-être y aurait-il lieu d'en distinguer de deux sortes, selon que les substances sont inorganiques ou organisées. Les timbres des premières sont relativement simples, nets, éclatants, métalliques ou cristallins; ceux des secondes, relativement complexes, ont quelque chose d'expressif et d'ému, comme s'ils retenaient une part des sensibilités de la vie. Les substances végétales et animales en fournissent de très divers. C'est à eux que la musique emprunte ses plus puissants moyens d'interprétation.

La hauteur et le timbre, qui particularisent les sons, font connaître leurs éléments de dissemblance. Ces effets s'expliquent, comme l'avait entrevu Pythagore, par des lois de nombre. Une mathématique secrète régit l'ordre de nos sensations auditives, et Leibniz a pu définir la musique « une opération arithmétique que l'âme accomplit sans le savoir » (« *Musica exercitium arithmetica occultum nescientis se numerare animi.* »)

La science des sons révèle ainsi, par l'analyse de leurs

conditions générales et de leurs qualités spéciales, les effets d'un mode de l'action moléculaire qui constitue pour les éléments des corps un état momentané d'équilibre instable. Cette notion aide en outre à concevoir, d'une part le mécanisme de la cohésion, puisque la production des sons se rattache à son influence; de l'autre, les mouvements vibratoires de l'éther dont le son offre une image amplifiée.

CONCLUSION

Les deux sortes d'effets qu'étudie la Physique élémentaire, la cohésion et le son, expliquent, la première, l'ordre constant que gardent les molécules agrégées en système; la seconde, les perturbations passagères que cet ordre est susceptible d'éprouver sans être détruit. On arrive ainsi à déterminer des conditions d'équilibre des groupes moléculaires dans les deux cas de stabilité et d'instabilité. Grâce au pouvoir que possèdent les éléments des corps de se coordonner d'eux-mêmes en agrégats fixes sous l'empire d'attractions mutuelles, et de revenir par des vibrations rythmiques à leurs distances normales quand un accident les en a écartés, les masses réalisent leur unité et la maintiennent, entre certaines limites, malgré les troubles qu'elles sont exposées à subir.

II. — PHYSIQUE SPÉCIALE OU CINÉTIQUE MOLÉCULAIRE

SCIENCE DES MODALITÉS VARIABLES

THÉORIE DES MODALITÉS VARIABLES

La cohésion et le son, effets statiques, constituent des modalités, permanentes dans un cas, transitoires dans l'autre, mais également uniformes, et dont les conditions se déterminent une fois pour toutes. En outre, leur extension très circonscrite ne dépasse pas, pour la cohésion, les distances intermoléculaires et, pour le son, des intervalles restreints dans le milieu intracosmique. Les effets dont nous allons maintenant nous occuper, se distinguent au contraire par un caractère frappant de diffusion et de mutabilité. Les causes qui les produisent, complexes et faciles à modifier, sont aussi changeantes que celles des effets précédents sont fixes. De plus, leur action s'exerce jusqu'à des distances indéfinies et se propage de monde en monde à travers les immensités qui les séparent. Enfin, elle atteint des degrés de vitesse auxquels rien ne peut être comparé. Tandis que le son se transmet dans l'air à raison de 332 mètres par seconde, la chaleur, la lumière et l'électricité, presque un million de fois plus rapides, franchissent 300,000 kilomètres dans le même espace de temps. Alors que, pour nous, les vibrations sonores sont comprises entre 16 et 38,000 par seconde, les vibrations optiques se comptent, dans le même intervalle, par cent millions de millions. Les modes variables de l'action physique représentent donc le mouvement comme les modes permanents la stabilité. La force

moléculaire, passant de l'état virtuel à l'état actuel, développe des séries d'effets où sa puissance se déploie et se manifeste par une continuelle versatilité. C'est pourquoi ces classes de phénomènes ont été attribuées à des « agents » spéciaux. Il ne faut sans doute voir là qu'une illusion de l'esprit, une forme de langage, car la cohésion et le son impliquent aussi des forces effectives; cette manière d'interpréter les faits indique seulement qu'il y a, dans les premiers, un principe de variation active dont les seconds semblent dépourvus.

Les causes de ces deux sortes de faits diffèrent comme leur nature et, tandis que les uns se lient aux conditions statiques de l'éther, les autres s'expliquent par ses modes de mouvement. La théorie rend compte des modalités constantes par le rapport entre l'action que les molécules exercent les unes sur les autres et la pression de l'éther ambiant. Ces deux influences étant également fixes puisqu'elles résultent de la constitution des molécules et de la tension générale du milieu éthéré, l'ordre de collocation qu'elles imposent aux éléments des corps a une tendance à persister sans fin de lui-même. Les actions cinétiques, au contraire, dépendent des agitations de l'éther qui, servant d'intermédiaire à toutes les forces et sans cesse ébranlé par elles, modifie par ses variations dynamiques la condition moléculaire des corps et produit en eux des modalités changeantes.

Néanmoins, quoique l'éther doive être tenu pour le véhicule des actions physiques, nous croyons que les physiciens s'abusent quand ils lui attribuent des modalités déterminées et prétendent par exemple évaluer la température de l'espace intercosmique. C'est assigner une condition moléculaire à ce qui n'est pas composé de molécules. Il est malaisé de concevoir comment l'éther, substance impondérable et diffuse, pourrait avoir un état thermique ou lumineux, puisque ces modalités ne se manifestent que dans les corps. Il faut chercher en lui

non de la chaleur proprement dite, mais un mode de mouvement capable de la produire lorsqu'il agit sur des molécules pesantes. L'éther transmettrait alors les actions physiques sans être capable d'en manifester les effets, et sa masse, traversée en tous sens par le rayonnement des astres, ne serait pour cela ni chaude, ni lumineuse. Son élasticité seule est ébranlée et les actions qui résultent de ses divers modes d'agitation ne deviennent perceptibles, c'est-à-dire ne se transforment en modalités réelles qu'en atteignant les corps dont la résistance provoque des réactions et où les effets sont rendus sensibles dans les agrégats de molécules par des résultantes d'ensemble. Il est à noter, en effet, que l'éther transmet sans déperdition de puissance les causes de l'action physique. Dans l'espace qui sépare les mondes, la loi relative à la décroissance d'intensité de la chaleur et de la lumière s'applique avec une parfaite rigueur. Dans le cas, au contraire, où ces forces traversent des corps, même les plus diathermanes ou les plus diaphanes, il y a toujours une perte de puissance occasionnée par la résistance du milieu moléculaire. L'éther, agent fidèle de transmission, ne détourne rien de la force, au lieu que les corps lui font obstacle, en arrêtent une partie, la retiennent ou la transforment, et c'est précisément cette partie qui devient sensible sous forme de modalité physique (Hirn, *Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, p. 223), et Tyn dall, *La Chaleur*, p. 507).

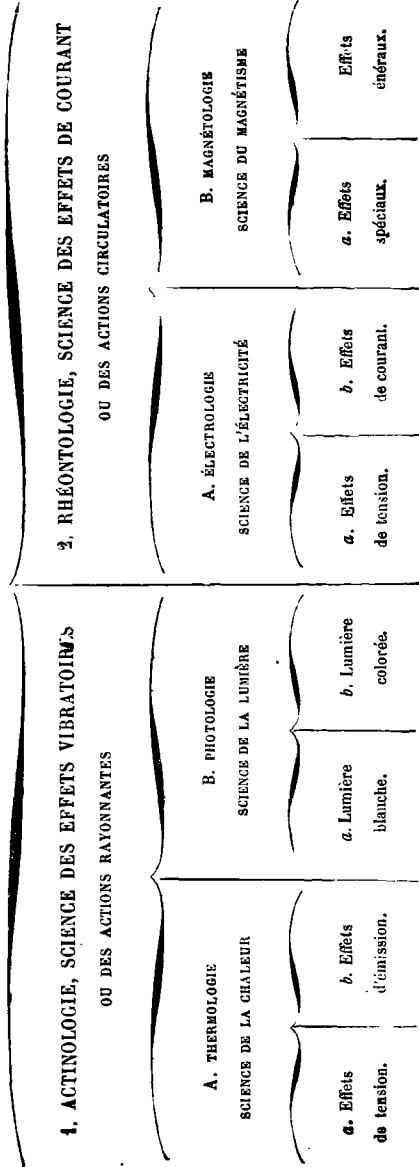
L'étude des modalités variables doit donc constituer dans la Physique analytique une seconde section que nous appellerons « Physique spéciale » ou « Cinétique moléculaire ». Son objet n'est pas moins général que celui de la section précédente. On ne connaît point, en effet, de corps que n'influencent à aucun degré la chaleur, la lumière, l'électricité ou le magnétisme. L'activité de ces agents s'exerce dans l'univers entier. Le champ d'exploration de la Physique spéciale n'est pas seulement plus

étendu que celui de la Physique élémentaire; il est aussi plus divers, et les phénomènes, se produisant dans des conditions sans cesse modifiées, soulèvent des problèmes nombreux et complexes.

Les modalités variables sont à classer par la considération des modes de mouvement auxquels la théorie est logiquement tenue de les rattacher. Or, les ébranlements de l'éther qui les déterminent ne peuvent s'opérer que de deux manières en rapport avec nos conceptions de l'étendue et de la force. Les mouvements invisibles de la substance éthérée doivent nécessairement s'accomplir, comme les mouvements visibles des masses, en ligne droite ou suivant des courbes. En d'autres termes, l'éther comporte deux modes d'agitation : ou ses déplacements s'effectuent dans les limites de son élasticité, sans que ses conditions d'équilibre se trouvent changées, et l'on a un mouvement alternatif de va et vient en ligne droite, d'où résultent des vibrations analogues à celles du son, sauf qu'elles sont infiniment plus courtes, plus rapides et transmissibles à toute distance; ou les déplacements de l'éther l'entraînent au-delà des limites de son élasticité, occasionnent la rupture de son équilibre, et le mouvement, décrivant alors une courbe au lieu de suivre une ligne droite, se manifeste sous forme de flux. A ces deux modes d'action de l'éther, dont les molécules subissent l'influence par le moyen de leurs atmosphères, correspondent, d'une part, les phénomènes de chaleur et de lumière qui « rayonnent » à partir d'un centre et se propagent en ligne droite; de l'autre, les effets électriques et magnétiques dont la transmission s'opère sous forme de « courants ». Nous partagerons conséquemment en deux groupes principaux les quatre séries de phénomènes qu'un classement artificiel, fondé sur la différence toute subjective des modes de perception, a jusqu'à présent eu le tort d'ériger en sections indépendantes. Nous n'aurons plus ainsi que deux classes principales de modalités variables, en parallé-

PHYSIQUE SPÉCIALE

SCIENCE DES MODALITÉS CHANGEANTES



lisme avec les deux sortes de mouvements que distingue la Dynamique et avec les deux systèmes de figuration qu'établit la Géométrie. Nous appellerons « Actinologie » (de *ἀκτίς*, rayon) l'étude de la première, et « Rhéontologie » (de *ῥέον*, *ῥέοντος*, courant) celle de la seconde.

1. — ACTINOLOGIE. SCIENCE DES ACTIONS RAYONNANTES

L'étude des actions vibratoires ou rayonnantes était moins difficile que celle des actions de courant, d'abord parce que leur cause est plus simple et mieux circonscrite, ensuite parce que leurs effets sont perçus à l'aide de sens spéciaux. Aussi leur connaissance a-t-elle pu se constituer la première.

Les actions rayonnantes de la Physique correspondent aux mouvements directs de la Dynamique, sans toutefois leur ressembler autrement que par la rectitude des directions suivies. Au lieu d'opérer un transport en ligne droite, leur cause produit une agitation sur place par un va et vient contenu entre les limites d'élasticité de l'éther et qui se communique de proche en proche. L'éther ambiant étant supposé en équilibre, un mouvement vibratoire se produit lorsque, par une cause quelconque, cet équilibre est troublé sans être détruit. La vibration se compose alors de mouvements alternatifs accomplis en deçà et au delà de la position normale d'équilibre, et dont la théorie se ramène à celle des oscillations du pendule. D'après un théorème de Fourier, « toutes les vibrations, de quelque nature qu'elles soient, pourvu qu'elles se fassent dans le même temps, peuvent être décomposées en une somme d'oscillations pendulaires ».

Dans la masse de l'éther, les vibrations se propagent suivant des « rayons » menés du centre d'ébranlement à la circonférence de l'onde. Il ne faut pas néanmoins confondre ce mode de l'action physique avec les ondulations

plus simples qui déterminent les sons. La science distingue en effet dans les milieux homogènes deux sortes de mouvements vibratoires dont l'un occasionne des variations partielles de densité dans la masse et procède par vibrations longitudinales, dans le sens de la direction des ondes, comme la transmission des sons en est un exemple ; tandis que l'autre n'entraîne pas de variations de densité dans la masse et se propage par vibrations transversales, dans un sens perpendiculaire à la direction du rayon. Tel est le cas des vibrations calorifiques et lumineuses. On en trouverait une image dans les ondes que la chute d'un corps produit à la surface d'une eau tranquille. La direction latérale des actions rayonnantes est attribuée à l'influence de la rotation des molécules et paraît due à ce que les atomes tendent à s'échapper de côté, comme le fait une toupie en mouvement qui reçoit un choc, lorsqu'ils sont heurtés perpendiculairement à leur axe de rotation. La théorie des ondulations, établie par Descartes et Huyghens, ne s'est pas accréditée sans difficulté ; mais, depuis Young et Fresnel, elle a définitivement prévalu sur celle de l'émission que Newton avait soutenue.

Les actions vibratoires comportent deux séries principales d'effets auxquelles correspondent les phénomènes de chaleur et de lumière. Quoique ces modalités, perçues par des sens spéciaux, semblent n'avoir rien de commun, une étude attentive a fait découvrir entre elles tant de points de ressemblance, qu'on est conduit à les réunir dans un même cadre en raison de leur analogie générale, sauf à les séparer ensuite pour un examen détaillé. La chaleur et la lumière émanent des mêmes sources, se transmettent l'une et l'autre par rayonnement, avec une vitesse sensiblement égale ; elles se réfléchissent, se réfractent, se polarisent de même. Leur principale différence tient à l'inégalité de longueur des ondes. Cela suffit à marquer d'un trait caractéristique les deux sortes d'actions, et, après avoir constaté la similitude des causes,

il convient de tenir compte de la disparité des effets. La production des phénomènes thermiques et celle des phénomènes lumineux exigent dans les corps des propriétés dissemblables et, par suite, les organes qui nous les révèlent devaient être construits différemment. Si l'on voulait prolonger le parallèle indiqué plus haut entre les actions rayonnantes de la Physique et les mouvements directs de la Dynamique, on pourrait dire que les effets thermiques correspondent aux mouvements uniformes et les effets lumineux aux mouvements variés, car les premiers se disposent en série unilinéaire et forment une échelle de degrés où l'intensité de la force se développe régulièrement, au lieu que les seconds composent des séries distinctes et semblent admettre divers degrés d'accélération représentés par les couleurs. Les phénomènes de « thermochrose, » signalés par Melloni, montrent il est vrai que la chaleur est susceptible de produire des effets analogues à ceux de la lumière ; mais, outre qu'ils ne sont pas appréciables à la sensation, ils n'ont ni la généralité ni l'importance de la couleur, et le trait de différence persiste. Quoique la lumière dépende de la chaleur, elle progresse plus vite qu'elle. Si par exemple le pouvoir éclairant d'un corps à 900° est représenté par 1, il passe brusquement à 65 vers 1100° et atteint 140 à 1200°. L'accélération de l'intensité lumineuse est donc beaucoup plus rapide que celle de l'intensité calorifique, et obéit à d'autres lois.

A. — Thermologie, science de la chaleur.

L'étude des phénomènes thermiques était relativement aisée à cause de leur aspect uniforme et de la facilité avec laquelle nous les percevons au moyen d'un sens à la fois interne et externe, occupant toute la surface de l'organisme et toujours en activité. Mais, si la découverte du

feu et de ses applications fut une des premières conquêtes opérées par l'homme sur la nature, la science de ses effets a été tardivement constituée. Le nom de Thermologie (de *θερμῶν*, chaleur), qui sert à la désigner, lui a été donné par Fourier.

L'idée de considérer la chaleur comme un mode de mouvement n'est pas ancienne. Elle a été émise par Montgolfier qui, dès 1800, écrivait : « La force mécanique et le calorique sont la manifestation, sous des formes différentes, des effets d'une seule et même cause. » Dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu* publiées en 1826, Sadi Carnot développait cette vue et substituait à l'hypothèse encore généralement admise de la matérialité du calorique (tenu depuis l'antiquité pour un élément des choses) celle d'un mouvement vibratoire. Il présentait même l'équivalence de la chaleur et de la force motrice sur laquelle s'est fondée depuis la Thermodynamique. La chaleur agit sur les molécules des corps en sens inverse de la cohésion. Elle précipite leur rotation par un effet analogue à celui du coup de fouet sur le sabot des enfants, augmente conséquemment l'énergie de leur puissance répulsive et tend à les écarter les unes des autres par suite de leurs réactions mutuelles. Les vibrations calorifiques sont infiniment moins longues et beaucoup plus rapides que les vibrations sonores, car les ondes acoustiques les plus courtes sont aux ondes thermiques les plus longues dans le rapport de 800,000,000 à 1 (Secchi, p. 179), et la vitesse avec laquelle elles se succèdent est dans celui de 1 à 1770. Il suffit donc de concevoir la longueur des ondes extrêmement atténuée et leur vitesse beaucoup accrue pour passer des phénomènes de sonorité à ceux de chaleur.

Des effets thermiques résultent de toutes les causes capables d'agiter les molécules des corps. Les principales sources de chaleur sont : les mouvements des masses (frottements, chocs, pressions ...) qui ébranlent les molé-

cules, les rapprochent et les contraignent à réagir; les changements d'état des corps (liquéfaction des gaz, solidification des liquides), qui dégagent la chaleur latente; enfin, les phénomènes électriques et les combinaisons chimiques. Nous n'avons à considérer ici que la chaleur libre. Ses manifestations comprennent les effets de tension, par lesquels l'équilibre de température s'établit dans un même corps ou entre corps qui se touchent, et les effets de transmission, par lesquels des échanges de chaleur se produisent entre corps distants.

a. — Sous le nom de « conductibilité », on constate à divers degrés dans tous les corps la double aptitude à laisser la chaleur s'introduire ou s'échapper par leur surface et à propager dans leur masse ces changements superficiels, d'où résulte un équilibre de tension calorifique appelé « température ». L'action thermique, en corrélation d'effets avec la cohésion, s'exerce différemment sur les solides et sur les fluides.

Dans les premiers, la chaleur se répand par « conduction » c'est-à-dire qu'elle passe d'une zone de molécules dans une autre suivant un ordre déterminé. La conductibilité, développée surtout chez les métaux, varie de 2 pour le bismuth à 100 pour l'argent. Elle se modifie selon l'état des surfaces.

Les effets thermiques se propagent par « convection » dans les fluides, dont les molécules, instables et presque toujours en mouvement, servent de véhicule à la chaleur. La conductibilité, faible dans les liquides, est au minimum dans les gaz.

b. — On appelle « rayonnante » la chaleur qui détermine les changements de température, non plus dans un même corps ou entre corps en contact, mais par influence, entre corps éloignés, quelle que soit la distance qui les sépare. Elle se transmet en ligne droite dans l'espace

avec une vitesse d'environ 280 000 kilomètres par seconde. Son intensité est en raison inverse du carré de la distance du foyer.

Lorsque le rayon thermique passe d'un corps dans un autre, il donne lieu à des effets soit de réflexion, soit de réfraction. Il se réfléchit sur les surfaces polies en formant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Les substances diathermanes sont traversées par lui sans que sa puissance de mouvement soit atténuée; cet effet paraît dû à ce que les intervalles qui séparent les molécules sont dans le même rapport que les ondes calorifiques. Au contraire, les corps absorbants arrêtent ces ondes, les troublent et s'approprient ou dispersent une partie de leur force. Quand le rayon de chaleur passe obliquement d'un milieu dans un autre de densité différente, il se réfracte, comme le son et la lumière. Enfin, il est susceptible de produire, par suite de réflexions ou de réfractions sous certains angles, des phénomènes de polarisation plane ou circulaire étudiés par Forbes et par Melloni.

Ainsi la chaleur, agissant par les deux effets de tension et de transmission, travaille sans relâche à se mettre en équilibre, d'abord dans un même corps, puis entre corps qui se touchent, enfin entre corps distants. Elle pénètre les choses, les traverse, se réfléchit à leur surface, modifie leur manière d'être et anime la nature entière de sa continuelle activité. Voltaire l'a dit en deux vers d'une heureuse concision mis par lui en épigraphe à un *Mémoire sur la nature du feu* :

Ignis ubique latet naturam amplectitur omnem :
Cuncta parit, renovat, dividit, unit, alit.

B. — Photologie ou Optique, science de la lumière.

L'action de la lumière, moins uniforme et plus subtile que celle de la chaleur, est distincte pour la sensation quoiqu'elle se rattache à un mode semblable de mouvement. Les ondes thermiques, relativement longues et lentes, sont perçues par toute la surface de la peau, et leur impression représente une sorte de contact atténué; les ondes lumineuses, plus courtes et plus rapides, exigeaient pour être senties un organe spécial, d'une structure complexe et d'une délicatesse exquise. Comme la vue seule nous révèle cette catégorie d'effets, leur science a reçu le nom d' « Optique » (ὀπτική de ὄπτομαι, voir); mais le sens de ce mot semble indiquer des recherches physiologiques sur le mécanisme de la vision. Le terme de « Photologie » (de φῶς, φωτός, lumière) désignerait mieux ce que le phénomène a de général à titre d'effet physique.

L'étude de la lumière soulève des problèmes dont la difficulté a fait longtemps le désespoir des physiciens. On sait le mot de Newton découragé : *Nil luce obscurius*. L'esprit humain ne pouvait guère se proposer de tâche plus ardue que l'explication de la manière dont agit celle des forces de la nature qui est à la fois la plus apparente dans ses effets et la mieux cachée dans sa cause.

De même que la chaleur, la lumière est la manifestation d'un mode de mouvement moléculaire qui résulte d'un système d'ondes occasionné par les vibrations de l'éther. Ces deux séries d'effets semblent se continuer directement l'une l'autre et n'être séparées que par un degré d'accélération. Les rayons jaunes, qui expriment la vitesse moyenne de la lumière, sont environ trois fois plus rapides que ceux de la chaleur obscure. On voit, par la distinction des corps diathermanes et des corps diaphanes, que la chaleur et la lumière ne se propagent pas dans des con-

ditions identiques. La première se transmet le plus aisément à travers les substances les plus denses et la seconde à travers les milieux les plus raréfiés. En général, les corps transparents sont mauvais conducteurs de la chaleur et les bons conducteurs opaques. Les actions qui correspondent à la transparence et à la conductibilité ne se rapportent donc pas aux mêmes longueurs d'ondes. Il y a synchronisme dans un cas et non dans l'autre entre les vibrations de l'éther et celles des molécules. Un trait caractéristique de la lumière est le défaut de conductibilité des corps à son égard. Par suite, elle ne peut pas s'accumuler en eux, s'y mettre en équilibre de tension et modifier à l'unisson l'état d'un système de molécules. C'est précisément pour cela que l'impression optique a pu se localiser dans un organe particulier, car, si l'organisme avait comporté une condition d'équilibre lumineux, il n'aurait été capable de percevoir que des variations en plus ou en moins à partir d'un point d'indifférence, comme le sens thermique pour le froid et le chaud relatifs.

Nous avons à étudier, d'abord les effets généraux de la lumière blanche, ensuite les effets spéciaux que manifestent les couleurs.

a. — L'intensité de la lumière dépend de l'amplitude des vibrations de l'éther. On ne possède pas encore de photomètre exact ni d'étalon fixe comme il était facile d'en trouver pour la chaleur. L'éclat de la lumière varie selon la distance au foyer, la direction émergente ou incidente des rayons, l'absorption des milieux, etc. La vitesse de propagation de la lumière est d'environ 308 000 kilomètres par seconde, c'est-à-dire à peu près un million de fois plus grande que celle du son dans l'air. Cette prodigieuse inégalité de mouvement s'explique par la différence des conditions dans lesquelles les vibrations s'effectuent. Comme la force agit en raison inverse de la densité des milieux et en raison directe de leur élasticité, tout l'avan-

tage est du côté de l'éther dont la densité est infiniment petite et l'élasticité infiniment grande.

Dans un milieu diaphane et homogène, la lumière se transmet en ligne droite. Si elle rencontre des corps opaques, elle produit des ombres dont la théorie se ramène à de simples questions de géométrie. Quand ses rayons frappent la surface d'un corps, ils subissent une déviation et donnent lieu, selon l'occurrence, à des phénomènes de réflexion ou de réfraction.

La partie de l'Optique consacrée à l'étude des effets de réflexion porte le nom de « Catoptrique » (de *κατοπτρον*, miroir). Sa loi fondamentale est l'égalité constante des deux angles d'incidence et de réflexion dont la mesure, à la surface des diverses sortes de miroirs, est aisément représentée par des figurations géométriques. Une certaine absorption de lumière accompagne toujours la réflexion. Enfin, la réfraction entraîne aussi une perte de lumière par réflexion.

La « réfraction » (de *refractum*, brisé) a pour cause le ralentissement ou l'accélération que subit le rayon lumineux quand il passe dans un milieu plus ou moins réfringent. L'étude de ce phénomène constitue la « Dioptrique » (de *διόπτρα*, dioptré, instrument propre à la mesure des angles). C'est la partie de l'optique la plus avancée et la plus féconde en applications. La théorie de la réfraction a conduit à la construction d'appareils susceptibles d'agrandir singulièrement le champ de la vision naturelle, c'est-à-dire à l'une des inventions les plus ingénieuses et les plus utiles. Découverte presque simultanément par Snellius et Descartes, la loi de la réfraction consiste dans la proportionnalité des sinus des angles que forment le rayon incident et le rayon réfracté avec la perpendiculaire à la surface réfringente. On a déterminé ce coefficient pour une multitude de substances. La double réfraction, particulière à certains cristaux, se lie à la réfraction simple par une loi de déviation dont

Huyghens a donné la formule élégante en substituant dans son expression géométrique un ellipsoïde à une sphère.

Quand la lumière rase la surface des corps, elle donne lieu à des effets de « diffraction ». Les rayons déviés se dispersent alors en partie et produisent des franges colorées. La théorie de la diffraction, ébauchée par Newton, puis constituée par Young, a été complétée par Fresnel. On y attache le principe des « interférences », conséquence du système des ondes. Lorsque deux ondes lumineuses, parties d'une source commune, retardent l'une sur l'autre d'une demi-longueur d'ondulation, elles chevauchent, se neutralisent réciproquement et produisent de l'obscurité parce qu'elles se superposent de telle sorte que la phase positive de l'une coïncide avec la phase négative de l'autre. Les ondes se renforcent, au contraire, quand leurs phases concordent, c'est-à-dire quand elles parcourent dans le même temps une distance égale à un nombre pair de demi-ondulations. L'étude des sons constate des effets analogues et les entrecroisements d'ondes à la surface de l'eau en donnent une image sensible. Ces phénomènes d'interférence présentent un grand intérêt parce qu'ils ont fourni le moyen de mesurer la longueur des ondes lumineuses.

La polarisation de la lumière, découverte par Malus (1808), fait subir aux rayons une modification spéciale quand il a été réfléchi ou réfracté sous certains angles. Elle paraît dépendre du rapport de réfraction propre à diverses substances. Le rayon polarisé, modifié par le fait de sa réflexion sous des incidences où la surface réfléchissante se trouvait parallèle aux vibrations, n'a plus dans tous les sens les mêmes propriétés et suit une direction constante.

b. — Après la lumière blanche il convient d'étudier les couleurs qui la décomposent et l'analysent. Dans un rayon incolore de lumière sont confondus plusieurs rayons

colorés que la réfraction sépare et dont le spectre étale la diversité. Leurs différences tiennent à l'inégalité de longueur et de vitesse des ondes. La couleur, cette musique de l'œil, est à la lumière ce que le ton est au son, l'impression particulière causée par un nombre déterminé de vibrations dans un temps donné. Le rouge, dû à des ondes caractérisées par une longueur et une lenteur relatives, correspond aux sons graves; le violet se rapporte, comme les sons aigus, à des ondes courtes et rapides. L'obscurité est l'équivalent du silence. Enfin, l'œil a, comme l'oreille, sa limite d'impressions et, de même que nous n'entendons pas les sons trop graves ou trop aigus, nous ne voyons pas les couleurs produites par des ondes trop lentes ou trop rapides. Notre gamme optique est comprise entre les ondes rouges dont la longueur mesure environ $800/1,000,000^{\text{es}}$ de millimètre et les ondes violettes réduites à $400/1,000,000^{\text{es}}$. La petitesse des ondes lumineuses dépasse ainsi de 50,000 fois celle des ondes sonores les plus courtes que nous puissions percevoir et qui mesurent de 2 à 3 centimètres. Comme le rayon se transmet à raison de 308,000 kilomètres par seconde, les ondes doivent, sur cette distance, se succéder par centaines de millions dans un millionième de seconde. On évalue la vitesse des ondes rouges à 496,000,000,000 vibrations par seconde et celle des ondes violettes à 789,000,000,000,000 (Tyndall, *La lumière*)¹. Tel est le nombre de chocs que doit subir la rétine en moins d'une seconde pour nous procurer la sensation de couleur et, puisque chaque vibration se compose de deux mouvements, l'un d'aller, l'autre de retour, il faudrait encore doubler ces chiffres pour avoir la quantité réelle des mouvements effectués.

Ainsi la longueur des ondes décroît et leur vitesse

1. Les chiffres assignés dans les traités à la longueur ou à la vitesse des ondes lumineuses ne concordent pas toujours parce que les physiciens ne s'entendent pas sur la position du vrai rouge et du vrai violet dans le spectre.

augmente de l'extrême rouge à l'extrême violet, en passant par les couleurs intermédiaires. Leur ensemble, qui constitue le spectre visible, correspond à une octave musicale. Le clavier des impressions visuelles est donc beaucoup moins étendu que celui des impressions auditives. L'œil n'embrasse guère que la dixième partie du spectre véritable, si l'on entend par ce mot l'aire où se déploient les effets de l'action lumineuse et que divers artifices permettent de constater, soit dans l'infra-rouge, soit dans l'ultra-violet. En deçà du rouge, les ondes invisibles ne sont appréciables qu'au thermomètre, sous forme de chaleur obscure; mais on descend ainsi jusqu'à des vibrations dont l'amplitude mesure $2,000/1,000,000^{\text{es}}$ de millimètre et se réduit à $40,000,000,000,000$ par seconde. A l'autre l'extrémité de l'échelle des couleurs, au delà du violet, les ondes, trop courtes et trop rapides, n'impressionnent plus notre vue. Cependant Helmholtz a réussi à rendre discernable hors du spectre une lueur gris-lavande produite par des ondes dont la petitesse atteint $100/1,000,000^{\text{es}}$ de millimètre. L'existence de ces rayons est signalée par les phénomènes dits de « fluorescence » parce que le spath-fluor, traversé par les ondes extrêmes de la lumière, ralentit leurs vibrations et les ramène à des conditions de visibilité. Les rayons ultra-violet, dont la vitesse peut s'élever à $946,000,000,000,000$ de vibrations par seconde, agitent avec une telle énergie les molécules de certaines substances qu'ils suffisent à les décomposer, ce qui leur fait donner le nom de « rayons chimiques ». Toutefois, les rayons optiques et même les rayons calorifiques exercent aussi une action chimique, et l'on a pu récemment (1880) obtenir des images photographiques sous l'influence de la portion infra-rouge c'est-à-dire invisible du spectre.

Les tons dégradés de la lumière résultent du mélange par couples de trois couleurs primitives sur lesquelles les physiciens ne s'accordent pas encore. En France, on re-

garde comme couleurs fondamentales et simples le rouge, le jaune et le bleu, dont le mélange donnerait les autres couleurs. Ainsi, le violet serait un composé de bleu et de rouge; l'indigo, de violet et de bleu; le vert, de bleu et de jaune; l'orangé, de jaune et de rouge. Mais Young, Helmholtz et Tyndall tiennent pour couleurs primitives le rouge, le vert et le violet. Le jaune proviendrait alors du rouge et du vert; le bleu du vert saturé et du violet; le blanc, du jaune et du bleu (Tyndall, *La Lumière*, p. 32). Cette théorie semble mieux d'accord avec les résultats de l'expérience. La coloration propre des corps est due à ce qu'ils diffusent inégalement la lumière. Par une fonction « élective » et non « créatrice », chacun d'eux, selon sa nature, absorbe ou renvoie quelques-uns des rayons colorés dont se compose la lumière blanche. L'infinie variété des nuances dont se teignent les choses tient à la multiplicité des conditions où cette analyse s'effectue. Les objets qui réfléchissent toutes les couleurs du spectre paraissent blancs et ceux qui les absorbent toutes, noirs. Le blanc n'est donc pas une couleur, mais la somme de toutes les couleurs. Le noir ne doit pas davantage être compté parmi les couleurs; il représente l'absence ou le minimum de sensation lumineuse. Enfin, les corps qui réfléchissent spécialement certaines couleurs et absorbent les autres sont diversement colorés. Le phénomène de coloration dépend non seulement de la nature ou de l'état des surfaces, mais aussi de la composition de la lumière et change avec elle. D'après la théorie d'Young, reprise par Helmholtz, la vision s'opérerait par trois séries de fibrilles nerveuses, aptes à recevoir l'impression des trois couleurs fondamentales, le rouge, le vert et le violet. Chaque couleur agirait à la fois, mais non avec la même puissance, sur les trois sortes de fibres et la proportion déterminerait la couleur.

La lumière, moins énergique et plus délicate que la

chaleur, révèle ce que les actions rayonnantes ont de plus subtil et, pour ainsi dire, d'idéal. Si elle modifie moins profondément la manière d'être des choses, elle nous impressionne de plus de façons et son activité se joue à produire dans la nature les effets les plus divers. La lumière blanche éclaire toutes les réalités sensibles et la couleur répand sur elles sa changeante magie. L'intérêt et l'importance de ces phénomènes expliquent la prédilection avec laquelle les physiciens se sont occupés de l'Optique et les développements que cette science a reçus.

Ainsi les deux modes de l'action vibratoire, la chaleur et la lumière, manifestent, en deux séries pour la sensation, en une seule pour le raisonnement, les effets de mouvements moléculaires en corrélation avec les ébranlements de l'éther. Les rayons thermiques et les rayons lumineux, soumis aux mêmes lois générales, se propagent en ligne droite dans tous les sens et à toute distance. Ils se réfléchissent, se réfractent et se polarisent de même. Leurs systèmes d'ondes paraissent se continuer l'un l'autre sur une double échelle de longueur et de vitesse. Le principal trait de dissemblance, peu important pour la théorie, mais de grande conséquence par ses résultats, se réduit à une différence de degré. Tant d'analogies conduisent à expliquer les deux classes d'effets par une simple modification de la cause qui leur est commune.

2. — RHÉONTOLOGIE, SCIENCE DES ACTIONS DE COURANT

La force physique, agissant dans des conditions, différentes, produit une classe de modalités distincte de celle dont nous venons de parler. Les actions rayonnantes, contenues dans les limites d'élasticité de l'éther, ne changent pas son état d'équilibre stable et l'agitent sans le dépla-

cer. Elles déterminent des vibrations qui se propagent en ligne droite, s'éloignent toujours davantage de leur point de départ et ne reviennent sur elles-mêmes que brisées, après réflexion ou réfraction. Les actions circulatoires, au contraire, franchissant les limites d'élasticité de l'éther, rompent son équilibre et provoquent la formation de « courants » par lesquels il tend à se rétablir. Ces courants, au lieu d'être rectilignes et de suivre une direction constante, sont curvilignes et réversibles. Ils ne consistent plus en mouvements exécutés sur place et transmis de proche en proche par ondulations successives; ils occasionnent un transport ou flux de substance éthérée comparable à l'écoulement des fluides et soumis comme lui à la loi de continuité, la vitesse étant, dans les deux cas, proportionnelle à la section. Les actions de courant pourraient être définies : « un mouvement de translation de la matière impondérable à travers la matière pondérable. » (Secchi, *L'unité des forces physiques*, p.366.) Il semble qu'alors l'éther, entraîné par les rotations moléculaires ou emporté par un mouvement de circulation à la surface des corps, s'écoule en décrivant des courbes. Les traits caractéristiques de ce mode d'action sont la polarité et la conductibilité. La même force agit différemment à des extrémités opposées (pôles) où son influence se manifeste, ici par des attractions, là par des répulsions. En outre, elle se transmet de préférence dans certains corps où elle s'écoule comme un fleuve dans son lit. On voit donc se reproduire en Physique, entre les actions rayonnantes et les actions de courant, une distinction analogue à celle qui, en Dynamique, sépare les mouvements directs et les mouvements circulaires.

La science des effets de courant est récente et encore très imparfaite. La difficulté de leur étude résultait de ce que, au rebours des phénomènes de chaleur et de lumière incessamment signalés par des sensations spéciales, ils échappaient à la prise de la perception. Il fallait d'abord

constater, par voie d'interprétation, la réalité de ces faits qui se produisent avec mystère autour de nous, puis découvrir leur cause profondément cachée. Les anciens n'ont eu aucune idée de ces modalités dont la connaissance compose la moitié de la Physique, car ce n'était pas en soupçonner l'importance que de les réduire à l'attraction exercée par l'ambre sur les corps légers ou par l'aimant sur le fer. La science moderne, en pleine possession de la méthode expérimentale, a pu seule révéler ce que les actions de courant ont d'étendue et de puissance. La généralité de ces effets est aussi grande que celle des actions rayonnantes et doit être étudiée de même dans tous les corps.

Comme nous avons réparti les actions vibratoires en deux classes auxquelles correspondent la chaleur et la lumière, nous devons distinguer deux séries d'actions de courant que représentent, d'une part l'électricité, de l'autre le magnétisme. Ørsted et Ampère ont démontré l'identité fondamentale de leur cause; mais, si l'on ne peut plus croire à deux forces indépendantes, il faut toujours admettre deux sortes d'effets, et A. Comte a eu tort de les confondre (*Cours de philos. posit.*, leçon 34), après avoir séparé la Thermologie et l'Optique. La méthode exige qu'on groupe les faits en raison de leurs ressemblances génériques et qu'on les divise en raison de leurs différences spécifiques. A. Comte a méconnu les premières dans les actions vibratoires et les secondes dans les actions de courant.

A. — Électrologie, science de l'électricité.

Les phénomènes électriques, moins mystérieux que les phénomènes magnétiques, ont pu être plutôt abordés. Des sensations obtuses signalaient certains effets de l'électricité et la foudre manifestait sa puissance avec une

terrifiante énergie. La vraie nature de ces actions n'a pourtant été connue que très tard. Le point de départ de la science en cette matière fut la remarque, déjà faite du temps de Thalès, de l'influence attractive exercée sur les corps légers par le succin ou ambre jaune vivement frotté. Le nom d' « électricité » (de ἤλεκτρον, ambre) vient de cette première observation. Gilbert, il y a environ trois siècles, reconnut que le soufre, la cire, le verre, les résines, d'autres substances encore jouissent de propriétés analogues et une science de ces effets se constitua. Le terme d'électricité comme désignant un mode particulier de l'action physique est dû à Robert Boyle qui lui assigna cette acception dans son traité *De mechanica electricitatis productione* (Genève, 1694). A. Comte a donné à la science de ces phénomènes le nom d' « Électrologie » (*Cours de philos. posit.* t. II, p. 317).

L'électricité n'agit pas de la même manière que la chaleur. Quand elle parcourt un conducteur à section variable, son débit reste le même, que la section soit grande ou petite. Dans le dernier cas, la puissance semble se concentrer pour forcer l'obstacle et la température s'élève. Elle suit donc la loi des courants et doit avoir pour cause, non plus de simples vibrations, mais un transport réel de la substance de l'éther. Ce n'est pas, en effet, la matière pondérable qui se déplace, car le poids d'un fil traversé par un courant n'augmente pas, et, lorsque ce courant passe d'un métal dans un autre, on ne trouve dans le second aucune trace du premier. Le principe des actions électriques paraît être une résultante de la rotation des molécules qui, suffisamment rapide, tend à projeter, par un mouvement tangentiel, l'éther de leurs atmosphères et à produire de la sorte un flux de substance étherée. Si l'on se représente les molécules des solides rangées comme les amas de boulets dans les parcs d'artillerie, sauf que leurs atmosphères seules sont en contact et que chaque molécule, au lieu de rester immobile, tourne plus

ou moins vite sur elle-même, on conçoit qu'une rotation active, communiquée de proche en proche à tout le système sous la loi d'une orientation commune, puisse contraindre, par des impulsions concordantes, l'éther interposé à se déplacer sous forme de courant, et déterminer ainsi son accumulation à une extrémité des corps, sa raréfaction à l'autre. Les deux sortes d'électricité, positive et négative, correspondent à ces conditions contraires. Des effets de ce genre doivent résulter de toutes les causes d'action, mécaniques, physiques, chimiques ou biologiques, capables de modifier le mouvement des molécules, soit qu'elles précipitent leur rotation, soit qu'elles en intervertissent le sens ou changent la direction des axes, ce qui a pour conséquence de troubler l'équilibre de l'éther à l'intérieur des corps. Les sources les plus abondantes d'électricité sont le frottement, le simple contact, les changements de température ou d'état, les compositions ou décompositions de substance. Des appareils spéciaux (machines électriques, piles, etc.), sont appropriés à ces divers modes de production en vue de dégager la force.

On distingue, en Électrologie, deux sortes d'effets dits, les uns statiques ou de tension, les autres, dynamiques ou de courant. Mais les expressions de statique et de dynamique, assez impropres ici, expriment seulement le fait que les flux d'éther se produisent, dans un cas, à l'intérieur des corps et, dans l'autre, au dehors. Les effets de tension se manifestent par des attractions et des répulsions; ceux de courant, par des phénomènes thermiques, lumineux, magnétiques, chimiques et physiologiques.

a. — Examinons d'abord comment l'électricité se répartit dans une masse ou entre masses qui se touchent. L'état non électrique des corps est l'indice d'un équilibre normal entre les atmosphères des molécules et l'éther

ambiant, tandis que l'état électrique, dû à la rupture de cet équilibre, implique une inégale distribution de l'éther. Au rebours de la chaleur qui se répand uniformément dans la masse des corps et travaille sans cesse à s'y mettre en équilibre, l'électricité de tension se porte à leur superficie. C'est une force à tendances centrifuges, toute en dehors, prête à s'élaner et à se répandre, à moins qu'elle ne soit retenue dans des conditions d'isolement. Ses effets ont ainsi de l'analogie avec l'impulsion tangentielle que la rotation développe dans les zones équatoriales des masses.

L'électricité de tension détermine dans les corps deux états contraires que désignent les expressions d'électricité positive et d'électricité négative. Les corps de même électricité se repoussent, ceux d'électricité contraire s'attirent. Pour expliquer ces singuliers phénomènes, Du Fai avait imaginé, en 1733, la théorie de deux fluides opposés, capables de se neutraliser l'un l'autre, et cette hypothèse, longtemps accréditée, s'est maintenue en Allemagne, à cause des facilités qu'elle offre au calcul. En 1747, Franklin proposa de n'admettre qu'un seul fluide. C'était trop encore, et ces fictions qui personnifient dans des entités distinctes les forces partielles de la Physique doivent être écartées de la science. On rend mieux compte des faits en assimilant à des pressions les actions exercées par l'éther en mouvement. Lorsque, par suite de son déplacement, une condensation se produit, le corps est électrisé en plus ; quand, au contraire, une raréfaction a lieu, il est électrisé en moins. On comprend alors que, par l'effet d'une distribution inégale de son éther intérieur, un corps puisse être électrisé différemment à ses deux extrémités, ce qui lui donne deux pôles, l'un positif, l'autre négatif. On comprend aussi qu'il suffise d'amener les molécules à tourner dans un autre sens pour renverser le courant et changer l'orientation des deux pôles. Des phénomènes de tension résultent ainsi de toute cause de perturbation qui, dans un corps,

met la densité normale de l'éther en excès ou en défaut. Comme ce corps tend à rétablir l'équilibre en déversant sur les corps voisins ce qu'il a de trop au pôle positif ou en leur empruntant ce qu'il a de moins au pôle négatif, des flux se produisent entre eux et lui, flux capables d'entraîner des corpuscules légers, et la tension se révèle par des attractions ou des répulsions.

Les phénomènes d'induction se rattachent aux variations que subit par influence la tension électrique des corps. Ceux qui sont chargés d'électricité modifient autour d'eux, dans un rayon plus ou moins étendu, l'équilibre de l'éther. L'espèce d'atmosphère électrique dont ils sont enveloppés agit par diffusion sur l'éther ambiant et, par son intermédiaire, sur les corps voisins. Les effets d'induction forment un trait d'union entre l'électro-statique et l'électro-dynamique.

b. — L'électricité passe à l'état de mouvement continu dans les courants. Le flux d'éther se propage dans les corps bons conducteurs comme un cours d'eau qui suit sa pente entre des rives. Le fait que l'intensité des courants électriques varie en raison du carré de la section du conducteur permet en effet d'assimiler l'écoulement de l'éther à celui d'un liquide dans un canal. L'électricité, qui ne comporte que des mouvements restreints dans les corps isolants, acquiert une mobilité indéfinie dans les corps bons conducteurs et, comme les fluides, se déplace facilement. Les métaux sont particulièrement doués de propriétés conductrices. Cela revient à dire que leur substance laisse le plus librement circuler l'éther. La vitesse de transmission des courants électriques se rapproche sensiblement de celle de la lumière, et cette coïncidence fait présumer quelque analogie générale entre les deux modes d'action.

Ainsi l'électricité, dont tous les corps subissent l'influence, détermine en eux des effets divers de tension,

d'induction et de courant. Ces phénomènes, sans cesse modifiés par des réactions mutuelles, ne tendent plus, comme les effets thermiques, vers un équilibre bientôt atteint, mais réalisent une condition mobile, principe de continuelle variabilité.

B. — Magnétologie, science du magnétisme.

Le magnétisme est à l'électricité, dans l'ordre physique, ce que la circulation est à la rotation dans l'ordre dynamique, c'est-à-dire un mouvement dérivé, moins uniforme et de plus grande portée. Alors que l'électricité semble retenue dans les corps comme le sont les éléments d'une masse qui tourne sur elle-même, quand les tendances centripètes prédominent encore sur l'impulsion centrifuge, le magnétisme montre la force dégagée, se portant à distance et opérant une sorte de mouvement tourbillonnaire. Quoique le magnétisme et l'électricité soient unis par d'étroits rapports, la science doit les distinguer, car si une même cause agit dans les deux cas, elle n'agit pas dans des conditions pareilles et, par suite, les effets diffèrent. L'influence électrique, particulière et transitoire, dépend de l'état propre des corps considérés isolément ou par groupes restreints; l'influence magnétique, générale et continue, résulte de l'état donné d'un ensemble de corps. La somme d'électricité qu'une masse peut fournir est limitée et s'épuise; la puissance d'un aimant ne s'épuise pas et semble provenir d'une tension du milieu. En outre, elle s'exerce à travers des substances quelconques, tandis que l'électricité est arrêtée par les corps isolants. Enfin, l'action magnétique est toute superficielle et la masse interne des corps n'influe pas sur son développement. M. Jamin a montré que, dans les barreaux aimantés, l'action magnétique ne dépasse jamais 4 millimètres de profondeur, et qu'un cylindre de fer creux produit les mêmes effets qu'un

cylindre massif. Le pouvoir magnétique consiste donc en un tourbillon d'éther qui enveloppe les corps, circule autour d'eux et obéit à des lois de translation. Son influence n'est pas répartie également à la surface des corps ou avec des polarités variables comme l'est l'influence électrique; elle s'accumule à des pôles fixes. Le principal trait de différence entre le magnétisme et l'électricité, trait analogue à celui qui distingue la lumière de la chaleur, pourrait tenir au fait de conductibilité dans un cas, de non-conductibilité dans l'autre. Tous les corps ont, à divers degrés, une double conductibilité pour la chaleur et pour l'électricité; mais ni la lumière, ni le magnétisme ne se propagent ainsi. Toutefois, la lumière est arrêtée par les corps, et cela nous permet de la saisir; le magnétisme, au contraire, les traverse tous, et de là vient notre impuissance organique à constater son action par des sensations définies.

En raison de ces dissemblances caractéristiques, il y a lieu d'instituer, sous le nom de « Magnétologie » (de μάγνησις, aimant), une science distincte du magnétisme. Son étude a été la plus tardive et se trouve encore la moins avancée. Les phénomènes dont elle s'occupe dépassent tous les autres en délicatesse et en complexité. De plus, aucun indice ne les signalait à la perception. Aussi le magnétisme, comme force de la nature ou plutôt comme mode de l'action physique, a-t-il été longtemps ignoré. La première connaissance qu'on en eut fut la remarque de l'attraction singulière exercée par les « aimants¹ » sur le fer. Platon (*Ion*, ch. 5) parle de « la pierre qu'Euripide a nommée magnétique et que la plupart nomment héracléenne. » (On en trouvait de pareilles près de Magnésie et d'Héraclée, villes de Lydie; de là, leur nom et celui même

1. Dans son poème sur l'aimant, Claudien explique les propriétés de cette pierre par la passion amoureuse que les anciens croyaient exister entre elle et le fer, comme en témoigne le mot d' « aimant » dont l'emploi se retrouve chez les divers peuples qui ont connu ces effets et ont essayé d'en raisonner.

de magnétisme). Plus anciennement, les Chinois avaient observé et su appliquer les propriétés des aimants naturels. L'introduction en Europe de la boussole, inventée par eux, remonte à sept siècles environ. A partir de la Renaissance, l'attention se porta sur ses mystérieux effets. Néanmoins, la publication de la première carte magnétique par Halley date seulement de 1700.

Deux sortes d'effets magnétiques sont à examiner, les uns particuliers et variables selon la nature des corps, les autres relatifs aux masses cosmiques.

a. — L'action magnétique s'exerce sur tous les corps. Dans le principe, on croyait que certaines variétés de fer avaient seules le pouvoir de la produire; mais Coulomb et Faraday ont fait voir que des propriétés analogues se retrouvent partout à divers degrés. Si des lacunes paraissent exister à cet égard dans la série des substances, cela tient à ce que, faute d'un sens magnétique, nous ne pouvons constater les effets de ce genre que lorsqu'ils sont assez intenses pour produire des mouvements. La généralité des phénomènes magnétiques, moins apparente que celle des phénomènes électriques, est non moins réelle, puisqu'on ne peut pas les séparer les uns des autres et que le magnétisme constitue simplement de l'électricité modifiée ou diffuse. L'existence d'un état magnétique pour le globe entier suffirait d'ailleurs à prouver que tous les corps dont il se compose sont doués d'aptitudes magnétiques.

Le pouvoir de les manifester est le plus grand chez les solides. Les liquides et les gaz, en raison de la mobilité de leurs molécules, sont, quoique sensibles à l'action des aimants, dépourvus de polarité permanente. Les aimants eux-mêmes perdent leurs propriétés par fusion. L'oxygène est attiré par eux. Au contraire, des bulles de savon pleines d'hydrogène, les flammes chargées de carbone, sont violemment écartées sous leur influence, et l'on suppose que les comètes, dans la substance desquelles l'analyse spec-

trale a fait reconnaître le carbone, sont repoussées de même par l'action magnétique du Soleil, ce qui expliquerait les prodigieux mouvements de leurs queues.

Les corps se partagent en « magnétiques » et en « diamagnétiques », suivant que leurs rotations moléculaires s'opèrent dans un sens parallèle ou transversal à celui du courant. Chez les premiers (fer, chrome, nickel, cobalt, etc.), les mouvements rotatoires des molécules ont ou prennent aisément une orientation commune. Les tourbillons particuliers suivent alors la direction du tourbillon total, et les corps se placent de manière que leur longueur soit dans le sens de la ligne des pôles, leur position, en ce cas, étant dite « axiale » ou « polaire ». Chez les seconds, au rebours, les tourbillons moléculaires manquent de mobilité ou se refusent à prendre, sous l'influence tellurique, une même orientation. Ils font conséquemment obstacle au tourbillon général et les corps se mettent en travers, dans le sens de la moindre résistance. Leur direction, formant ainsi un angle avec la ligne des pôles, est dite « équatoriale » ou « transverse ». Quand on divise un aimant, de quelque façon que ce soit, chacun de ses fragments compose un aimant complet. On présume que ses molécules, étant aimantées dans le même sens, agissent dans chaque partie comme dans le tout. La vitesse avec laquelle l'influence magnétique se propage dans le vide n'est pas connue. Il faut un intervalle appréciable pour que le fer acquière et transmette d'une section à l'autre les propriétés magnétiques.

b. — La latitude d'expansion de ces effets embrasse tout un monde et même des systèmes de mondes.

La Terre, considérée dans son ensemble, se comporte comme d'un aimant gigantesque dont l'axe diffère peu de celui de la rotation du globe, et c'est grâce à cette coïncidence approximative que la boussole a pu servir de moyen d'orientation. La puissance magnétique de

notre planète serait, d'après Gauss, égale à celle de 8,464,000,000,000,000 de barres d'acier du poids d'une livre chacune et aimantées à saturation (*Théorie générale du magnétisme terrestre*, n° 31). Chaque mètre cube du globe équivaldrait donc à 8 de ces barres. Les courants telluriques, cause de tous les effets particuliers qu'on observe dans les corps, sont à étudier au point de vue : 1° de l'intensité, qui se mesure par le nombre et l'amplitude des oscillations de l'aiguille aimantée; 2° de la direction, qui dépend de la « déclinaison, » c'est-à-dire de l'obliquité de l'aiguille aimantée par rapport à la ligne méridienne, et de l'« inclinaison » ou de la déviation de l'aiguille aimantée par rapport à l'horizontale, déviation qui rend sa direction perpendiculaire sous les pôles magnétiques; 3° enfin, des changements périodiques (diurnes, annuels, décennaux...) qui affectent ces éléments et dont les causes, encore mal déterminées, se lient aux mouvements de la Terre ou plutôt aux effets physiques qui en sont la conséquence. Les aurores polaires constituent des orages magnétiques par lesquels, dans les régions voisines des centres polaires, l'équilibre, sans cesse troublé, se rétablit entre les couches solides du globe et l'atmosphère.

Les tourbillons magnétiques dont les astres sont enveloppés paraissent capables d'agir à distance, en raison de leur énergie, et d'influencer les astres voisins. D'après plusieurs observateurs (Kreil, Sabine...), la Lune exercerait sur les magnétomètres une action appréciable dont les inégalités seraient en rapport avec les variations horaires de notre satellite. Le Soleil agit plus sensiblement sur la Terre comme un aimant d'une incomparable puissance. On en trouve l'indice dans la correspondance entre le cycle d'environ onze ans et demi signalé par le retour des maxima des taches solaires et une période de fluctuations magnétiques caractérisée par les variations de l'aiguille aimantée ainsi que par la fréquence des

aurores polaires. Les déplacements de l'axe magnétique du globe, qui tourne dans le sens de la précession, paraissent dus, comme la précession elle-même, à l'influence du Soleil. Toutefois, on ne sait pas encore si son action magnétique s'exerce directement ou si elle se fait sentir par l'intermédiaire de la chaleur.

Ainsi la puissance du magnétisme se révèle par des phénomènes à la fois spéciaux et intercosmiques. Le génie divinatoire de Kepler avait assigné à cette force mystérieuse une fonction régulatrice dans le mécanisme de l'univers.

Les deux sortes d'effets de courant se rattachent à une même cause d'action et semblent se disposer en série continue. L'électricité, plus circonscrite, se borne à modifier l'équilibre de l'éther dans un corps ou dans un groupe de corps; le magnétisme, moins limité dans son développement, exprime la résultante générale des effets physiques dans un monde ou dans des groupes de mondes. Par la portée comme par la mobilité de leurs effets, ces modes de l'action moléculaire, dont l'œuvre délicate et subtile échappe à la perception, sont une des causes les plus actives de changement dans la nature.

CONCLUSION

Quand on considère dans leur ensemble les actions cinétiques de la force moléculaire, on voit qu'elles représentent le mouvement, la variation, comme les actions statiques, la stabilité, la permanence. Malgré la diversité des aspects que revêtent leurs effets, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme forment un groupe naturel de modalités et, si l'analogie est plus grande entre

les actions rayonnantes d'une part, entre les actions de courant de l'autre, toutes se lient et paraissent résulter d'un même principe d'activité qui, mieux défini, permettra de conclure à leur unité finale. Dans ces diverses classes de modalités changeantes, la complexité, la délicatesse et la diffusion des effets suivent une sorte de progression. La chaleur se propage au dedans des corps, tend à s'y mettre en équilibre et consacre sa puissance à neutraliser la cohésion. La lumière, plus subtile, ne modifie pas la condition interne des choses, mais se réfléchit à leur surface, se réfracte en les traversant ou se joue, à leur contact, en colorations variées. L'électricité se porte de l'intérieur à la superficie des corps et, tour à tour, s'accumule, se raréfie ou se déverse en courants. Enfin, le magnétisme circule en tourbillons extérieurs et subordonne à des influences d'ensemble toutes les parties des mondes et les mondes eux-mêmes. Ainsi, au rebours des modalités constantes qui assurent l'ordre et la durée des agrégats moléculaires, les modalités changeantes modifient incessamment leur manière d'être et sont pour la nature un principe d'inépuisable diversité.

PHYSIQUE SYNTHÉTIQUE

SCIENCE DES RAPPORTS DE MODALITÉ

La Physique synthétique a pour objet de relier les notions acquises par la Physique analytique, d'établir les rapports des faits et de formuler leurs lois. Les problèmes de ce genre n'ont pas été systématisés jusqu'ici et ce défaut de coordination laisse subsister dans la science une regrettable lacune. Sans doute, les investigateurs ne négligent point de constater à l'occasion les corrélations d'effets qu'ils voient se produire ; mais ils les rencontrent, ils ne les cherchent pas, et ces notions, disséminées dans le relevé des expériences de détail, coupent l'enchaînement des faits sans mettre en lumière la concordance des causes. Il suffirait de les rapprocher et de les classer pour voir l'ordre succéder à la confusion et un jour imprévu éclairer bien des questions obscures.

En abordant cette nouvelle étude, il convient de la réduire à la seule recherche des rapports de modalité, car une extension abusive du mot, pris dans son sens originel et indéfini, a fait appeler « corrélation des forces physiques » les rapports éloignés de l'action moléculaire soit avec la gravité (thermodynamique), soit avec l'affinité (thermochimie) ; mais ce sont là des relations d'ordre supérieur dont nous n'avons pas encore à nous occuper. Nous devons seulement établir ici les relations intrinsèques des modes de l'action physique.

Conformément à notre programme général, nous exa-

minerons d'abord les relations circonscrites des phénomènes considérés par groupes restreints; ensuite leurs relations par séries et dans l'ensemble. La Physique synthétique comprendra donc : 1° la « Physique comparée » qui détermine les rapports spéciaux des faits de modalité; et 2° la « Physique générale » qui établit leurs lois les plus étendues.

I. — PHYSIQUE COMPARÉE

SCIENCE DES RAPPORTS SPÉCIAUX DE MODALITÉ

THÉORIE DES RAPPORTS DE MODALITÉ

Les phénomènes physiques ne se produisent point isolément dans la nature et aucun d'eux ne s'expliquerait si on le détachait de son ordre, vaste trame dont tous les fils s'entrecroisent. Chaque effet a ses causes et ses suites, c'est-à-dire ses attaches particulières, d'une part avec ceux dont il procède, de l'autre avec ceux qu'il détermine ou qu'il influence. La science a besoin de mettre ces relations en lumière afin de montrer le phénomène complet, non plus seulement en lui-même, mais encore dans ses origines, ses conséquences et ses liaisons éventuelles. La Physique comparée scrute les plus simples de ces rapports dans des groupes limités de faits, en tenant compte de leurs connexions directes.

Comme nous avons divisé en deux classes les phénomènes de la Physique, nous devons examiner d'abord les corrélations des modalités constantes qui, en raison même de la permanence et du peu de complexité de ces données, consistent en rapports fixes aisés à déterminer; puis, les corrélations des modalités variables qui, par leur aptitude à changer, entraînent des rapports moins uniformes et plus étendus; enfin, les corrélations de série qui unissent les deux sortes de phénomènes et conduisent à en opérer la synthèse.

I. — CORRÉLATION DES MODALITÉS CONSTANTES

Les actions qui assurent la persistance de l'état des corps influent les unes sur les autres et produisent des effets soit concomitants, soit successifs, dont la science doit étudier l'ordre au double point de vue de la cohésion et du son.

A. — Corrélation des effets de la cohésion.

a. — Les rapports qui lient les effets de la cohésion dans les solides sont très imparfaitement connus. On ignore à quelles particularités de condition moléculaire tiennent les propriétés de dureté, de rigidité, d'élasticité, de flexibilité, de malléabilité, de ductilité... qui caractérisent les corps, pourquoi ces propriétés tantôt se concilient, tantôt s'excluent et sous quelles influences elles se modifient dans un même corps. La science n'est pas faite sur ce point.

b. — Même lacune en ce qui concerne les effets de la cohésion dans les fluides, soit liquides, soit gazeux. Les données initiales manquent et l'on ne peut établir de comparaisons suivies.

Les rapports les mieux connus sont ceux qui unissent les divers états de solidité, de liquidité et de gazéité. Examinons-les dans leur succession pour un même corps et dans leurs effets entre corps différents.

Quoique ces états si dissemblables d'aspect constituent pour la sensation des manières d'être bien tranchées, leurs

PHYSIQUE COMPARÉE

SCIENCE DE LA CORRÉLATION DES EFFETS PHYSIQUES

<p>a. Corrélation des effets de la cohésion dans les solides.</p>	<p>b. Corrélation des effets de la cohésion dans les fluides.</p>	<p>a. Corrélation des conditions générales des sons.</p>	<p>b. Corrélation des qualités spéciales des sons.</p>	<p>a. Corrélation des effets thermiques.</p>	<p>b. Corrélation des effets lumineux.</p>	<p>a. Corrélation des effets électriques.</p>	<p>b. Corrélation des effets magnétiques.</p>
<p>A. CORRÉLATION DES EFFETS DE COHÉSION</p>		<p>B. CORRÉLATION DES EFFETS DE SONORITÉ</p>		<p>A. CORRÉLATION DES ACTIONS RAYONNANTES</p>		<p>B. CORRÉLATION DES ACTIONS DE COURANT</p>	
<p>1. CORRÉLATION DES MODALITÉS CONSTANTES</p>				<p>2. CORRÉLATION DES MODALITÉS VARIABLES</p>			

PHYSIQUE.

CORRÉLATION DES MODALITÉS PHYSIQUES

caractères se modifient sous l'empire de fortes pressions et arrivent à se confondre. Une expérience de M. Tresca montre que certains solides, soumis à cette influence, s'écoulent à la façon des liquides, et que des lames métalliques comprimées au-dessus d'un orifice circulaire s'échappent en formant une veine analogue à une veine fluide. La force mécanique supplée alors à la chaleur pour favoriser le mouvement des molécules. M. Daubrée a fait voir de même que les gaz, énergiquement comprimés, se comportent comme les solides et acquièrent assez de puissance d'érosion pour entamer le fer. C'est là sans doute l'explication de l'appareil paradoxal récemment inventé en Amérique pour couper des barres de métal sans les toucher, au moyen d'une roue tournant avec une extrême rapidité à quelques millimètres de leur surface. La projection des molécules gazeuses suffirait alors à creuser l'entaille.

Pour un même corps, les états physiques se continuent et composent une série que toutes les substances inorganiques sont aptes à parcourir. On ne connaissait guère d'exception à cette loi que quelques gaz, dits « irréductibles » ou « permanents », qui exigent pour changer d'état, de très basses températures, longtemps inaccessibles. Déjà Thilorier et Faraday avaient opéré de brillantes réductions. MM. Cailletet et Pictet sont parvenus (1877) à liquéfier les derniers gaz réfractaires en utilisant le froid intense produit par une décompression brusque.

Malgré leur disparité frappante, les solides, les liquides et les gaz représentent moins trois états que les stades d'un même état et, quand on examine comment un corps passe de l'un à l'autre, on trouve qu'ils sont séparés par des transitions ménagées plutôt que par une limite précise. Entre la condition des solides et celle des liquides, on constate comme intermédiaires des séries d'états pâteux. Quoique l'eau ne se congèle qu'à 0, on peut dire que la cristallisation commence virtuellement pour elle à 4° 1, point où

sa densité est la plus grande, les molécules se préparant dès lors, comme en témoigne la dilatation croissante de la masse, à l'acte de la solidification qui s'accomplit à 0. La glace même semble réaliser un état mixte, car, bien que solide et facile à briser, elle s'écoule dans les glaciers, se soude à elle-même et se moule par pression. D'autre part, les expériences de Cagniard-Latour et d'Andrews établissent qu'entre les états liquide et gazeux il y a, non discontinuité véritable, mais passage rapide. Soumis à de fortes pressions, les gaz affectent un état particulier, intermédiaire entre l'état gazeux et l'état liquide, appelé « état critique » par Andrews. On signale même en eux, à mesure que leur densité augmente, des indices de viscosité, c'est-à-dire d'une résistance appréciable au glissement des molécules par l'effet d'un frottement interne. Enfin, le passage de l'état gazeux à l'état radiant, au lieu d'être, comme celui des états qui précèdent, accusé avec précision, est insensible et graduel. Dans les corps réputés les plus fixes, le changement d'état s'effectue incessamment par les surfaces libres où les molécules n'étant retenues que dans un sens, éprouvent moins de résistance à s'échapper. De là proviennent l'évaporation des liquides à une température inférieure au point d'ébullition et celle même de certains solides (glace, iode, phosphore, etc.). Les odeurs des métaux et des roches, les images de Moser... portent à regarder le phénomène comme général. Au point de vue de la cohésion, la différence est plus considérable entre un liquide et un gaz qu'entre un liquide et un solide. L'écart des densités respectives suffirait à l'indiquer. Aussi faut-il beaucoup plus de chaleur pour vaporiser un liquide que pour liquéfier un solide. Il y aurait à mesurer ce que, pour chaque espèce de corps, la cohésion perd ou gagne de puissance à ces changements d'état et aux degrés successifs d'un même état.

Le terme de « cohésion », pris dans son acception stricte, exprime l'action qu'exercent les unes sur les autres des

molécules homogènes dans une masse continue et de même état physique. Des effets analogues, mais plus complexes, se produisent entre molécules hétérogènes ou d'état physique différent. La force, alors modifiée, porte le nom d'« adhésion ». Les solides discontinus ne se lient que par de faibles adhésions quand on affronte leurs surfaces, même appareillées avec soin, ou quand on comprime leurs poussières. Cependant de fortes pressions peuvent déterminer des adhérences énergiques et l'on doit attribuer à cette cause la transformation, dans les couches géologiques profondes, des dépôts sédimentaires en roches compactes et résistantes.

Entre liquides et solides, quand les premiers mouillent les seconds, le contact est plus intime et l'adhésion spontanée. On obtient ainsi souvent, par suite d'un nouvel arrangement moléculaire dû à l'évaporation ou au refroidissement, une force d'adhérence égale à celle de la cohésion, comme lorsqu'on unit la colle au bois, le mortier à la pierre, un métal soudé à un autre métal, etc. — Les phénomènes de capillarité, dont l'importance est considérable, expliquent l'ascension des liquides dans les tubes étroits. Les hauteurs sont alors proportionnelles aux diamètres des tubes; mais la loi des niveaux se modifie, car la surface du liquide devient concave s'il mouille les parois du tube et convexe dans le cas contraire. A la capillarité se rattachent les effets d'imbibition et d'osmose dont dépendent toutes les fonctions des êtres vivants. L'« osmose » (de ὠσμός; impulsion) signalée par Dutrochet (1828) et appelée « dialyse » (de διαλύω, je sépare) par Graham, est une action superficielle qui résulte de l'inégalité des attractions capillaires entre des liquides de densité différente et les faces de la membrane qui les sépare. Les phénomènes de diffusion, propres aux liquides et aux gaz sont encore un effet de la même cause. La loi de la diffusion des gaz lui assigne une vitesse en raison inverse de la racine carrée de la masse des molécules. Ainsi, le chlore,

environ trente-six fois plus lourd que l'hydrogène, doit se diffuser six fois moins vite. — Enfin les molécules des gaz qui, libres, se repoussent élastiquement et sont incapables d'adhérer les unes aux autres d'une manière fixe, emprisonnées dans les vides intermoléculaires de corps denses et cohérents, perdent leur force de projection, s'immobilisent et connaissent une sorte de cohésion. Dans ces conditions, elles se lient soit à des solides (absorption et condensation des gaz par les corps poreux, charbon, éponges métalliques...), soit à des liquides (dissolution des gaz, absorption de l'air et de l'acide carbonique par l'eau...).

La nature nous offre les trois états physiques réunis et combinés dans un quatrième état que les physiciens ont eu le tort de négliger et qui est peut-être plus général qu'aucun des autres. Haecckel a montré que, outre les états solide, liquide et gazeux, il fallait distinguer un état mixte qui résulte de leur union dans les proportions les plus variées. On en trouve de fréquents exemples même parmi les substances minérales. La plupart des eaux charrient des troubles ou tiennent en dissolution des corps étrangers. De nombreux solides renferment une eau de cristallisation ou d'imbibition. Citons enfin les éjections volcaniques et le phénomène si commun de la boue. L'importance de ce quatrième état est surtout grande en ce qu'il caractérise une classe de substances, un règne de formes et des séries de fonctions. L'organisation et la vie procèdent en effet d'une condition de la matière qui se rapproche par une multitude de degrés des états solide et liquide sans jamais se confondre avec eux. Cet état, propre aux corps vivants qui ne sauraient traverser la solidité ou la fluidité parfaites sans voir leur substance se dénaturer et leur forme disparaître, ne peut se produire qu'entre les limites de congélation et de vaporisation de l'eau. L'exacte détermination des changements qu'il éprouve dans les tissus au point de vue de la cohésion présenterait un

grand intérêt ; mais la variabilité des cas rend cette étude malaisée.

B. — Corrélation des effets de sonorité.

a. — Il y aurait à examiner d'abord les relations des causes qui influent sur l'intensité ou sur la transmission des sons. Toutefois, comme ces causes sont assez mal connues, leur théorie est fort incomplète. Le manque de phonomètre exact et l'ignorance des conditions de cohésion qui font varier d'un corps à l'autre l'amplitude et la vitesse de propagation des ondes ne permettent guère d'établir des lois de rapport.

b. — Les sons, considérés dans leur période, forment une échelle de tons que l'art musical s'applique à combiner de la manière la plus agréable, soit quant à leur succession qui constitue la mélodie, soit quant à leur simultanéité qui constitue l'harmonie. Par une loi fondamentale, mais inexpliquée, les seuls tons dont l'ouïe tolère le rapprochement sont entre eux dans un rapport simple. Lorsque plusieurs tons se font entendre à la fois, il y a « consonnance » si l'impression est agréable et « dissonnance » dans le cas contraire. D'après le principe d'Euler, la consonnance plaît parce qu'elle donne à l'esprit la sensation de l'ordre sans fatigue et cet ordre résulte de ce que les vibrations des sons consonnants de la gamme correspondent à des nombres simples. Les effets de dissonnance ont été rattachés par Helmholtz à la théorie des battements ou interférences. On appelle ainsi les alternances de son et de silence qui se succèdent quand on fait entendre deux notes très voisines et qui s'expliquent par la correspondance et l'opposition alternatives des ondes. Lorsque, en effet, la partie convexe d'une onde coïncide avec la partie concave d'une autre, les deux mouvements s'annihilent

réci­proque­ment et, comme en Optique l'inter­fé­rence de deux ondes lu­mineuses donne de l'obscu­rité, en Acous­tique celle de deux sons donne du silence. Il en résulte qu'au mo­ment où les tons chevauchent l'un sur l'autre la suite des vibrations se trouve coupée, par un effet ana­logue à celui qui produit sur l'œil la vacillation d'une source de lumière, et l'oreille perçoit des battements isolés dont l'impression dis­continue est désa­gréable. Si l'in­ter­valle des battements est d'un ton ou d'un demi-ton, l'impression est continue et moins pénible à supporter. — Enfin, les tons simultanés engendrent des « tons résultants » parmi lesquels Helmholtz a distingué les « tons diffé­rentiels », produits par un nombre de vibrations égal à la différence de celles des deux tons primitifs, et les « tons additionnels », dont les vibrations égalent la somme de celles des tons primitifs. Ces tons accessoires sont rendus sensibles à l'aide de résonnateurs.

La musique exploite les éléments de sonorité que crée la facture instrumentale ou dont la voix même dispose. L'intensité des sons, leur timbre, leur tonalité, leur succession et leur accord lui fournissent des effets d'une variété infinie dont l'Acoustique est loin d'avoir démêlé tous les rapports. L'art est sur ce point plus avancé que la science.

Il resterait à indiquer les relations des deux sortes d'ef­fets statiques, la cohésion et le son. Les phénomènes de sonorité dépendent de la cohésion qui impose aux molécules des corps un ordre fixe et les y ramène par une suite de vibrations décroissantes quand une cause d'agitation les a ébranlées dans les limites de leur élasticité. L'aptitude à émettre des sons est surtout développée chez les métaux où la cohésion se manifeste avec le plus d'énergie. Les liquides et les gaz, peu sonores par eux-mêmes, ont besoin d'être mis en vibration par des solides. — D'autre part, la

cohésion subit l'influence des actions perturbatrices que signale le son. Les vibrations énergiques exposent les corps à se rompre ; prolongées, elles modifient leur structure moléculaire. On sait qu'il faut un temps d'usage pour que les instruments de musique acquièrent la perfection de leur timbre et leur pleine sonorité. — Le rapport le plus important à connaître serait l'équivalence du son, c'est-à-dire la quantité de force nécessaire pour rétablir l'ordre troublé de la cohésion et qui se disperse en vibrations à mesure que les molécules reviennent à leur position d'équilibre.

2. — CORRÉLATION DES MODALITÉS VARIABLES

Les relations plus complexes des effets de la cinétique moléculaire sont à scruter, d'abord dans la classe des actions rayonnantes, ensuite dans celle des actions de courant, enfin dans les deux réunies.

A. — Corrélacion des actions rayonnantes.

a. — Les effets thermiques se développent régulièrement des températures les plus basses jusqu'aux plus élevées que nos expériences puissent atteindre. La loi des échanges règle les réactions d'une force qui tend à se mettre partout en équilibre et à produire une résultante moyenne, d'une part, dans un même corps ou entre corps qui se touchent, de l'autre entre corps distants. La coordination de ces influences dans un vaste système tel qu'une masse cosmique, soulève des problèmes dont la solution exige l'emploi de la haute analyse. Fourier et Poisson en ont donné la théorie mathématique.

b. — Les effets plus variés de la lumière sont unis par

des connexions très étendues. L'intensité de l'éclat lumineux comporte des degrés sans nombre qui vont des ténèbres les plus profondes à l'éblouissement; mais le défaut de photomètre rend malaisée la détermination de leurs rapports. — Les couleurs du spectre ont, comme les tons de la musique, leurs lois de contraste et d'harmonie. Les couleurs dites primitives (le rouge, le jaune et le bleu) ont, chacune pour complément la couleur due au mélange de deux autres. Ainsi le rouge a pour complémentaire le vert (mélange de jaune et de bleu); le bleu, l'orangé (mélange de rouge et de jaune); le jaune, le violet (mélange de rouge et de bleu). Chaque couleur simple, unie à sa complémentaire, donne le blanc. Juxtaposées, les couleurs complémentaires s'avivent l'une l'autre et, perçues séparément, se suscitent (« images postérieures »). La théorie de ces rapports est surtout due à M. Chevreul; mais l'intuition des peintres et l'instinct de la coquetterie féminine avaient devancé sur ce point les explications de la science. Le spectacle si divers et toujours changeant qu'étaient sous nos regards les jeux de la lumière, les alternatives graduelles du jour et de la nuit, les effets de réflexion et de réfraction, enfin les nuances infiniment variées dont se teignent les corps, montrent comment les actions lumineuses s'entrecroisent incessamment dans la nature.

Une relation générale unit les effets de chaleur et ceux de lumière. Les deux sortes d'actions vibratoires, ne différant que par la longueur et la vitesse des ondes, représentent le même mode de mouvement à deux degrés d'activité. La lumière est de la chaleur avivée ou accélérée; la chaleur, de la lumière atténuée ou retardée. Melloni a pu définir la lumière « une série de rayons calorifiques appréciables à la vue » et la chaleur obscure « une série de radiations lumineuses invisibles. » Il n'y a point de lumière sans chaleur et, s'il paraît y avoir de la chaleur sans lumière, cela tient seulement à la limite

d'impressionnabilité de la vue. Les deux phénomènes sont juxtaposés dans le spectre solaire et se confondent dans les cas d'incandescence ; aussi tous nos procédés d'éclairage se ramènent-ils à produire de la lumière par un fait d'ignition. Les corps solides, échauffés à moins de 525°, ne donnent que de la chaleur obscure ; mais, à partir de 525°, ils émettent d'abord des rayons rouges, puis les différentes couleurs du spectre, jusqu'au violet qui apparaît vers 1100°. Toutes les couleurs se trouvant alors réunies, les corps sont blancs. On se sert de cet indice chromatique pour graduer les hautes températures. Par une sorte de substitution d'effet, à mesure qu'augmente l'éclat lumineux la puissance des radiations thermiques diminue et l'arc voltaïque donne à la fois la plus grande quantité de lumière et la moindre proportion de chaleur rayonnante.

Les propriétés optiques des corps dépendent en partie de leur condition de température. Le fer, opaque à froid, devient translucide quand il est porté au rouge. De minces feuilles d'or ou d'argent, chauffées, se laissent traverser par la lumière, et le cuivre fondu a une transparence presque égale à celle de l'eau. Sous la même influence, la réfrangibilité des corps se modifie. Quand on chauffe un prisme de quelques degrés, les lignes du spectre se déplacent. Un rayon de lumière polarisée qui traverse une plaque de verre reste invisible si la plaque est froide et devient visible si on l'échauffe. La couleur des substances se modifie avec leur degré d'échauffement. « Presque toujours, par l'élévation de température, les corps blancs jaunissent plus ou moins ; les rouges prennent du bleu et passent soit au violet, soit au bleu même ; les jaunes prennent du rouge et deviennent orangés ; les bleus et les gris acquièrent une couleur plus foncée et tournent au noir. » (Dumas, *Philosophie chimique*, p. 329.) De faibles variations thermiques suffisent parfois à déterminer des changements de coloration : ainsi, l'acide hypoazotique, incolore à — 20 degrés, prend à la température ordinaire une teinte jaune orangé ;

par contre, la dissolution d'iodure d'amidon, fortement colorée en bleu à froid, devient incolore à + 50 degrés (*id.*, p. 331, 2). Certains corps, aptes à reproduire les vibrations lumineuses après leur exposition à la lumière, donnent des lueurs diversement colorées lorsqu'on les chauffe à des degrés différents. Ainsi le sulfure de strontium émet une lumière violet foncé à — 20 degrés, violette à + 15°, bleue à + 40°, bleu verdâtre à + 70°, vert jaunâtre à 100°, et rouge jaunâtre à 200°.

Réciproquement, la couleur influe sur l'action thermique. Les nuances claires ou foncées des corps les disposent à subir diversement les effets de la chaleur rayonnante. Le noir absorbe, le blanc réfléchit et la chaleur absorbée est en proportion de la lumière éteinte. L'empirisme a su tirer parti de ces indications pour l'hygiène du vêtement selon ce qu'exigeaient les saisons et les climats.

Il importerait de suivre et de coordonner les relations de ce genre entre les deux classes d'actions vibratoires. Le problème essentiel consisterait à déterminer l'équivalent thermique de la lumière ou l'équivalent optique de la chaleur.

B. — Corrélation des actions de courant.

a. — Les phénomènes électriques se lient les uns aux autres dans les divers cas de tension, d'induction et de courant. L'électricité de tension, qui réagit contre elle-même par ses modes positif et négatif, se répartit dans un corps ou entre corps qui se touchent; mais elle se change en courant par le fait de la décharge entre corps électrisés différemment, décharge qui s'accomplit en silence à travers un corps conducteur et avec bruit à travers un corps non conducteur. Les courants s'influencent mutuellement. D'après la grande loi découverte par Ampère, ils s'attirent en raison directe de leurs intensités respectives et en

raison inverse du carré de leur distance lorsqu'ils sont parallèles, situés dans le même plan et dirigés dans le même sens; ils se repoussent suivant la même loi quand ils sont dirigés en sens contraire.

Les effets de tension et les effets de courant dépendent d'une même cause et leur différence tient uniquement à ce que, dans un cas, elle agit sur des corps isolants, et, dans l'autre, sur des corps bons conducteurs. Si l'on assimile l'action statique de l'électricité à un mouvement vibratoire et son action dynamique à un flux, les deux seront forcément corrélatives, car, en Dynamique, tout flux est accompagné de vibrations et, lorsque les ondes atteignent certaines limites d'amplitude ou de vitesse, elles doivent se rompre et se changer en courant. Par conséquent, la tension électrique peut toujours donner lieu à un flux d'éther et, partout où un flux se produit, il entraîne une nouvelle distribution d'électricité statique, c'est-à-dire une différence de tension. Les résultantes complexes des actions électriques, la manière dont l'équilibre de l'éther se trouble et se rétablit dans un système de corps, posent à la science des séries de problèmes encore mal élucidés. La théorie des orages montre comment l'état électrique de l'atmosphère, sans cesse modifié par des causes perturbatrices, revient à un équilibre normal par une crise passagère et de puissantes décharges.

b. — Les phénomènes magnétiques sont naturellement connexes puisqu'ils consistent en résultantes générales et suivent la loi de polarités cosmiques. L'action des aimants sur les substances magnétiques ou diamagnétiques, celle de la Terre sur les aimants et celle des astres sur la Terre impliquent de vastes corrélations d'effets.

Enfin, l'électricité et le magnétisme sont si étroitement unis que leurs modes d'action se confondent sous le nom d'« électromagnétisme ». Pour bien connaître ces deux

sortes de modalités, il faut les étudier quand elles se produisent de concert.

L'électricité détermine ou modifie les effets magnétiques. Ampère a montré qu'un aimant peut être conçu comme une série de courants circulaires et parallèles. Un fil enroulé sur un cylindre et dans lequel passe un courant donne à ce « solénoïde » les propriétés d'un aimant. Un morceau de fer doux s'aimante alors instantanément sous l'influence du courant et la télégraphie électrique a tiré de ce fait un heureux parti. Le magnétisme semble résulter de la coordination de courants qui, soumis à une loi commune, s'attirent lorsqu'ils suivent une même direction et se repoussent quand ils sont dirigés en sens contraire. Les courants électriques font dévier l'aiguille aimantée qui tend à se placer dans un sens perpendiculaire à celui du courant. La loi générale de l'électromagnétisme a été formulée par Ampère : si l'on suppose une aiguille aimantée en équilibre et un fil parallèle à sa longueur traversé par un courant, la pointe de l'aiguille dévie vers l'Ouest ou vers l'Est suivant que, dans le fil placé au-dessus de l'aimant, le courant se dirige vers le Nord ou vers le Sud ; ces mouvements sont inverses lorsque le fil est placé au-dessous de l'aimant.

D'autre part, le magnétisme agit sur l'électricité. Les aimants influencent les courants et lorsque ceux-ci parcourent des fils mobiles sur un axe, l'aimant les force à se mettre en croix avec lui. La rotation d'un aimant développe des courants électriques. Il suffit même d'approcher et d'écarter alternativement d'un morceau de fer doux un aimant entouré d'un fil de cuivre isolé, pour déterminer dans ce fil des courants instantanés et réversibles. C'est sur ce principe qu'est fondée la construction des machines magnéto-électriques dont on se sert pour produire de la lumière au moyen de l'électricité. Leur fonctionnement, remarquable exemple de corrélations dynamiques et physiques, montre comment une force motrice (la

vapeur), due à l'action du feu, développe, sous l'influence d'un aimant, de l'électricité qui se transforme en lumière. Dans la météorologie du globe l'action magnétique semble se substituer en partie à l'action électrique, car les orages sont inconnus dans la région où les aurores polaires sont fréquentes et celles-ci apparaissent rarement dans la région des orages. Le magnétisme solaire exerce une influence appréciable sur l'état électrique de la Terre. Il résulte des recherches de Sabine sur le magnétisme terrestre et de celles de Meldrum sur la périodicité des cyclones, que les orages sont le plus nombreux dans les années où les taches du Soleil atteignent le maximum.

On doit donc admettre, d'une manière générale, la transformation des courants électriques en effets magnétiques et des effets magnétiques en courants. Cet étroit rapport oblige de conclure à l'identité logique des deux causes d'action. « Jusqu'à ces derniers temps, dit le P. Secchi, les physiciens rapprochaient le magnétisme de l'électricité, bien plutôt parce qu'ils avaient remarqué certaines analogies dans les apparences des deux ordres de phénomènes que parce qu'ils étaient parvenus à les rattacher à une même cause. Il était réservé à notre siècle de faire connaître une nouvelle modalité grâce à laquelle la connexion des deux agents se trouve nettement indiquée. Dès lors, la réduction de l'électricité et du magnétisme à un principe unique ne fut plus une simple hypothèse, mais une conséquence rigoureuse de l'analyse mathématique. Ainsi les actions magnétiques sont devenues un cas particulier des actions électro-dynamiques. » (*L'Unité*, p. 448.)

Indiquons enfin les corrélations plus lointaines qui unissent les actions vibratoires et les actions de courant.

Les effets de la chaleur et ceux de l'électricité sont connexes. Les mêmes nombres expriment communément la

conductibilité des métaux pour l'une et pour l'autre, d'où l'on peut induire que les deux forces se propagent dans des conditions analogues. Il y a sans nul doute un équivalent électrique de la chaleur; mais on ne l'a pas encore déterminé. On sait seulement que la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer 106 milligrammes d'eau élèverait de 1 degré la température de 38 grammes. Si donc on appelle «*électricité*» la quantité d'électricité capable d'élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau, cette même quantité suffirait à en décomposer 2 gr. 78 (Secchi). La condition électrique de certains corps est modifiée par un simple changement de température. Ainsi, suivant qu'un cristal de tourmaline est froid ou échauffé, ses pôles électriques sont inverses. Quand on chauffe au point de soudure un barreau de cuivre ou d'antimoine uni à un barreau de bismuth, un courant d'électricité va de la soudure aux deux métaux. On tire parti de ce phénomène pour la construction de piles «*thermo-électriques*» dont l'exquise sensibilité décèle les moindres variations de température. Théoriquement, aucune action thermique ne doit se produire sans entraîner une rupture d'équilibre et la mise en mouvement de l'éther, c'est-à-dire des manifestations électriques. L'origine longtemps incertaine de l'électricité atmosphérique s'explique par cette cause. Les physiciens l'avaient attribuée d'abord au frottement de l'air contre le sol, à l'évaporation des eaux, à la végétation, etc. La théorie plus simple de M. Becquerel a fait abandonner ces hypothèses : «*On sait, dit-il, que lorsque la chaleur se propage inégalement dans un fil ou dans une masse homogène de métal, il y a trouble dans l'équilibre des forces électriques; les parties qui s'échauffent le plus prennent l'électricité négative, celles qui s'échauffent le moins l'électricité positive. L'atmosphère se trouve précisément dans le cas des masses et des fils métalliques. La température de la terre va en diminuant depuis sa surface jusqu'aux limites de l'atmosphère. Les parties supérieures*

seront donc positives, tandis que les zones inférieures, le sol par conséquent, seront négatives. »

L'électricité engendre de la chaleur non moins aisément que la chaleur de l'électricité. Les flux d'éther qui constituent les courants ébranlent les molécules des corps, les entraînent s'ils ont une intensité suffisante et accomplissent ainsi un travail qui se traduit en élévation de température. Quand un courant énergétique traverse un fil mince de métal, il le porte instantanément à l'incandescence. La chaleur développée par ce moyen est assez considérable pour fondre les substances les plus réfractaires, volatiliser les plus fixes et dissocier les plus stables. L'arc voltaïque peut même décomposer momentanément les corps simples à une température qui, d'après les expériences de M. Rossetti, atteindrait 4800 degrés. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, novembre 1879.) L'électricité en mouvement est susceptible de produire aussi du froid : lorsqu'un courant traverse une soudure d'antimoine et de bismuth, il l'échauffe s'il passe du premier métal dans le second, tandis qu'il la refroidit s'il passe du second dans le premier. Cet effet paraît tenir à ce qu'une partie de la force est alors employée à détruire et à renverser le mouvement de rotation des molécules.

L'alliance n'est pas moins intime entre la lumière et l'électricité. Les propriétés optiques des corps et leurs propriétés électriques offrent de telles analogies qu'il est difficile de ne pas leur assigner une cause commune. On constate une correspondance exacte entre la distinction des corps en isolants et en conducteurs de l'électricité et celle des corps qui font subir à la lumière la polarisation rectiligne ou elliptique. Les corps qui transmettent le mieux l'électricité (les métaux) sont en général opaques et polarisent la lumière elliptiquement; les corps diélectriques ou isolants sont au contraire diaphanes et font éprouver à la lumière la polarisation rectiligne. Ces propriétés dissemblables paraissent caractériser deux con-

ditions moléculaires dont l'une favorise les mouvements longitudinaux de l'éther et fait obstacle aux transversaux, tandis que l'autre favorise les transversaux et empêche les longitudinaux. Pour rendre compte de ces différences, il suffit de supposer l'éther en équilibre stable dans les corps diaphanes, ce qui lui permet d'osciller entre les limites de son élasticité, et en équilibre instable dans les corps opaques, ce qui facilite la formation des courants. (Secchi, p. 357 et 500.)

Faraday avait admis que tout corps isolant doit, sous une influence électrique, éprouver une modification dans ses propriétés optiques. M. Kerr a montré qu'en effet le verre, dont la réfringence est simple à l'état non électrique, devient bi-réfringent quand on le soumet à l'action de l'électricité. Dans les conditions ordinaires, la bi-réfringence ne se manifeste que parmi les solides; néanmoins, les liquides isolants (huile d'olive, térébenthine, benzine, etc.), acquièrent cette propriété en devenant électrisés. Enfin l'électricité, par suite même de son aptitude à produire de hautes températures, détermine de puissants effets lumineux capables de rivaliser avec le resplendissement des astres. Leur éclat nous éblouit dans les éclairs et l'industrie cherche à utiliser en l'atténuant cette source de lumière dont le principal défaut est son aveuglante intensité.

La lumière réagit à son tour sur l'électricité comme le prouve son action si remarquable sur le sélénium cristallisé. L'exposition de ce corps à la lumière augmente dans une proportion qui varie de 1 à 15 sa conductibilité électrique, et l'on a mis cette corrélation à profit pour construire une sorte d'œil artificiel très sensible aux degrés de lumière comme aux différences de coloration.

Le magnétisme a aussi des relations avec les actions rayonnantes. La chaleur exerce sur lui une influence soit directe, soit médiate. La puissance des aimants augmente quand leur température s'abaisse et diminue quand elle

s'élève. On ne doit donc pas s'étonner de voir les pôles magnétiques de la terre situés dans le voisinage des pôles du froid. Par contre, l'aimant perd ses propriétés quand on le chauffe au rouge cerise (vers 900 degrés). Le magnétisme terrestre paraît être une résultante générale des effets physiques et spécialement des effets électriques, si étroitement associés à l'action de la chaleur. D'autre part, le magnétisme réagit sur les manifestations thermiques. La chaleur se développe dans un barreau de fer soumis à des séries d'aimantations et de désaimantations alternatives. Quand on fait tourner un disque de cuivre entre les pôles d'un électro-aimant, il s'échauffe au point de devenir brûlant. Des expériences délicates établissent que, par l'effet de l'excitation d'un aimant, un faisceau de chaleur voit tour à tour croître et décroître son intensité. (Tyndall, *La Lumière*, p. 197, 8.)

Mentionnons enfin les connexions du magnétisme et de la lumière. L'action magnétique est une source d'effets lumineux et les aurores boréales illuminent de leurs féériques clartés les nuits des régions polaires. Une brillante expérience de Faraday sur la « magnétisation de la lumière » montre qu'un rayon polarisé qui traverse une substance diaphane placée entre les pôles d'un électro-aimant dévie lorsque l'action magnétique se fait sentir et tourne dans le sens des courants comme si le corps diaphane était un morceau de fer doux. Un effet analogue se produit quand on fait réfléchir un rayon de lumière polarisée à la surface d'un miroir de fer aimanté (Kerr). Les aimants puissants exercent une influence marquée sur les spectres des gaz raréfiés que traverse la décharge d'une bobine d'induction...

La concordance d'une multitude de données de ce genre conduira nécessairement quelque jour la Physique comparée à expliquer par une même cause les deux séries d'actions, rayonnantes et de courant, que distingue la cinétique moléculaire.

CONCLUSION

Les corrélations physiques les plus étendues s'établissent entre les modalités constantes et les modalités changeantes, c'est-à-dire, entre la cohésion et le son, d'une part, les actions vibratoires et les actions circulatoires, de l'autre. La manière d'être des corps résulte du rapport qui unit ces deux classes de phénomènes dont la première assure la permanence des agrégats tandis que la seconde travaille à les modifier.

La cohésion et la chaleur, partout en lutte, mais liées par leur antagonisme même, sont inséparables, et la simultanéité de leur action rend compte de l'état des corps. La cohésion fait obstacle à l'expansion calorifique et tend à rapprocher les molécules; la chaleur, neutralisant l'action coercitive de la cohésion, les écarte et tend à les disperser. Selon le rapport de ces deux forces les distances intermoléculaires augmentent ou diminuent et ces variations déterminent à des limites fixes ou points de passage les changements d'état physique. Une simple soustraction de chaleur convertit un gaz en liquide ou un liquide en solide, comme une addition de chaleur amène les transformations inverses. Quand un de ces phénomènes s'accomplit, il est toujours accompagné d'un dégagement de chaleur s'il réalise un progrès de cohésion ou d'une absorption de chaleur si le lien de l'agrégat se relâche. Cela tient à la quantité de force nécessaire pour produire et entretenir soit la mobilité des molécules à l'état liquide, soit leur répulsion élastique à l'état gazeux. La chaleur que les corps dégagent ou absorbent en changeant d'état et dont le thermomètre ne rend pas compte parce qu'elle est transformée en travail constant, s'appelle « chaleur latente. »

La chaleur dite « spécifique » exprime un autre rapport

de l'action thermique avec la cohésion. Elle désigne la quantité de chaleur que les divers corps exigent pour qu'un poids égal de chacun d'eux soit porté à la même température. La capacité calorifique est en raison du degré de ténacité, c'est-à-dire de la puissance de la cohésion. Ainsi, la quantité de chaleur capable d'élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau (calorie) est suffisante pour élever de 9 degrés la température de 1 kilogramme de fer. L'invention du calorimètre, due à Lavoisier et à Laplace, donne le moyen de mesurer ces inégalités dans la série des substances.

L'addition de calorique produit généralement dans les corps une augmentation de volume et la soustraction une réduction. Les rares exceptions à cette loi s'expliquent par des particularités de structure. L'eau qui se congèle occupe un plus grand volume et sa légèreté relative s'accroît dans le rapport de 8 à 9, ce qui permet à la glace de surnager. Le bismuth se dilate aussi, au lieu de se contracter, sous l'influence du refroidissement. Ces anomalies paraissent tenir à un mode spécial de cristallisation qui oblige les réseaux à s'écarter, lorsque les molécules se resserrent, comme s'ils adhéraient par le sommet de leurs angles. La mesure linéaire des dilatations produites par la chaleur dans la presque totalité des corps rend sensibles à la vue des effets qui n'impressionnent directement que le sens thermique. On utilise cette donnée pour la construction des thermomètres, dont l'artifice se fonde sur l'observation du rapport entre le volume des corps et leur température. Les solides se dilatent moins que les liquides parce qu'une partie considérable de la force est consacrée à vaincre en eux la cohésion des molécules. M. Hirn l'évalue pour les métaux aux deux tiers de la chaleur transmise, un tiers seulement étant appréciable au thermomètre. On sait en outre que les métaux les plus cohérents exigent pour se dilater le plus de chaleur et que les liquides fixes en exigent plus que les liquides volatils.

Les gaz, quelle que soit leur nature, se dilatent également aux mêmes températures. Pour eux, la chaleur, n'ayant plus à neutraliser les effets de la cohésion, borne son rôle à contre-balancer la pression et, conséquemment, à pression égale, les mêmes températures doivent développer dans les divers gaz la même puissance d'expansion. On admet que, pour les corps à l'état gazeux, les dilata-tions sont proportionnelles aux températures et les densités aux pressions ; mais cette loi doit être entendue sous certaines réserves. Enfin, la conductibilité des métaux pour la chaleur dépend de la cohésion, car ceux qui sont ductiles et mous sont en général mauvais conducteurs et ceux qui, au contraire, conduisent le mieux la chaleur, sont ductiles et élastiques.

L'Acoustique et la Thermologie ont aussi leurs points de contact. La chaleur détermine des vibrations et, par suite, des sonorités. On connaît l'exemple des flammes chantantes et résonnantes. La température influe sur l'émission et sur la transmission des sons. D'après une communication faite par M. A. G. Ellis à la Société royale de Londres (1881), la chaleur influe même sur la tonalité des sons, de telle sorte qu'ils s'élèvent quand la température s'abaisse et s'abaissent quand elle s'élève. La variation serait de $1/100,000^{\circ}$ de vibration par degré Fahrenheit. Par contre, les vibrations sonores échauffent les corps en proportion de leur vitesse. Les sons les plus aigus résultent de vibrations si rapides que les corps maintenus sous l'influence de cette cause d'agitation deviennent incandescents.

L'action de la lumière est modifiée par l'état de cohésion des corps. Leurs propriétés de transparence, d'opacité, de réflexion, de réfringence et les effets de coloration se lient à certains modes de constitution moléculaire sur lesquels l'étude optique fournit souvent de précieux indices. Un simple changement d'état physique rend les corps propres ou impropres à émettre des rayons lumineux. Les solides

et les liquides, échauffés à plus de 525°, deviennent seuls une source de lumière ; les gaz, quelle que soit leur température, restent obscurs. On a pu récemment, grâce à l'influence exercée par la lumière sur la conductibilité électrique du sélénium, établir une relation indirecte entre l'action lumineuse et le son. En appliquant à un appareil téléphonique une baguette de sélénium impressionnée successivement par les diverses zones du spectre, on arrive à ce résultat paradoxal de faire « entendre les couleurs », comme les artifices optiques font « voir les sons ». M. Graham Bell, employant un procédé analogue, a trouvé (1880) par la construction du « photophone » le moyen de transmettre le son par un rayon de lumière. La disposition de cet appareil consiste à faire interrompre au départ le rayon lumineux par les vibrations acoustiques d'une surface réfléchissante, puis à rendre ces intermittences sensibles à l'arrivée sur un crayon de sélénium traversé par un courant et placé dans le circuit d'un téléphone. D'après les découvertes récentes (1881) de MM. Bell et Mercadier, le phénomène serait général par sa cause et ne dépendrait pas d'un effet médiateur de conductibilité électrique propre au sélénium. Un corps quelconque, frappé par un rayon de lumière qu'interrompent de fréquentes éclipses, vibre et résonne sous l'influence de ces chocs répétés.

D'étroits rapports unissent la cohésion et l'électricité. Les propriétés électriques des corps, leur distinction en isolants et en conducteurs dépendent de l'état d'agrégation des molécules. Chaque changement qui le modifie détermine des effets électriques, comme il arrive dans les cas de frottement, de rupture, etc. Becquerel, généralisant une observation d'Haüy, a fait voir qu'il suffit de presser l'un contre l'autre deux corps, dont l'un au moins n'est pas conducteur, pour qu'ils se chargent d'électricités contraires, proportionnellement à la pression. Le « microtasmètre » d'Édison met en évidence l'action exercée sur la

conductibilité d'un corps en poudre, comme un bouton de charbon très divisé, par la moindre variation de pression, celle par exemple que produisent le poids de l'aile d'un moucheron, une vibration sonore, une différence minime de température, etc. La balance d'induction de Hughes, établie sur le principe du sonomètre, signale avec une exquisite délicatesse, les changements moléculaires que subissent les métaux sous l'influence de causes soit mécaniques (tension, torsion, pression), soit physiques (chaleur, électricité, magnétisme). — Par contre, l'action électrique change les conditions d'équilibre des molécules et les entraîne dans ses courants. Une relation existe même entre le son et l'électricité. Les décharges électriques développent des sonorités dont l'intensité va d'un léger bruissement aux éclats du tonnerre. Un corps qui vibre et résonne, mis en contact par un fil thermo-électrique avec un galvanomètre très sensible, fait dévier l'aiguille aimantée. L'invention du « microphone » est fondée sur les variations d'intensité de courants transmis à travers de médiocres contacts que modifient les vibrations sonores.

Des rapports plus lointains rattachent le magnétisme à la cohésion. L'action magnétique n'a guère de permanence que dans les solides. Le plus tenace des corps, le fer est aussi le mieux doué de propriétés magnétiques. Une barre de fer s'allonge dans l'acte de l'aimantation (Tyn-dall, *La Lumière*, p. 13); au contraire, un diapason aimanté vibre comme s'il était raccourci (Secchi, *L'Unité*, p. 553). Le principe du « téléphone » repose sur la transformation alternative d'ondes sonores en courants induits et de courants induits en ondes sonores, ce qui établit une correspondance entre le magnétisme et le son. « Jusqu'ici aucune relation n'a été trouvée entre le pouvoir diamagnétique d'une substance et ses autres propriétés physiques... Seulement, tout indique qu'il dépend de la structure moléculaire et que les phénomènes de cet ordre sont intimement liés au mouvement électrique intérieur

qui se traduit à nous par les courants thermo-électriques » (Secchi, *id.* p. 477). A un point de vue général, le magnétisme paraît coordonner dans une résultante d'ensemble les modalités diverses et servir de régulateur ou de frein au mécanisme des actions physiques.

Ainsi tout se tient dans le jeu des forces moléculaires. L'entrecroisement et l'interdépendance de leurs effets devraient être scrutés dans le détail entier des phénomènes où ils se prolongent à l'infini. Mais, faute de plan et de méthode, cette étude, qui serait si instructive, n'a fourni jusqu'à présent que des notions éparses et confuses. La science des corrélations physiques est encore peu avancée. Rien ne le montre mieux que l'imperfection de la météorologie qui aurait à tenir compte d'une multitude de rapports. La difficulté de suivre à travers des enchaînements d'influences le développement des faits arrête bien vite dans leur interprétation. Il importerait donc de systématiser ces recherches et de coordonner les séries de modalités. Un travail de ce genre n'aurait pas seulement pour avantage d'expliquer les phénomènes les uns par les autres, il conduirait en outre à poser le problème de la Physique générale et en préparerait la solution.

II. — PHYSIQUE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE MODALITÉ

THÉORIE DES CORRÉLATIONS D'ENSEMBLE

La connexité des phénomènes physiques, une fois reconnue dans l'ordre spécial des séries, serait à considérer dans l'ensemble et à formuler en lois. La science doit opérer la synthèse finale des faits et de leurs rapports, ramener à l'unité ces données sans nombre et faire découler d'une cause simple la multiplicité des actions moléculaires. Tel est l'objet d'une section de la Physique non encore instituée et que nous appellerons « Physique générale. »

La connaissance des corrélations particulières n'est en effet qu'un point de départ. Il faut coordonner les groupes établis par la Physique comparée et mettre les lois de leur accord en lumière, sous peine de voir l'abondance des notions acquises se tourner en confusion. Ce qui a manqué jusqu'ici et ce dont le besoin se fait impérieusement sentir, c'est une formule assez large pour tout comprendre, qui fasse dépendre d'un seul principe les diverses classes de modalités et rattache à un même tronc les rameaux divergents de la science. Aussi longtemps que la Physique sera divisée en parties indépendantes et comme étrangères, elle n'aura qu'une unité nominale. A. Comte signale ce fâcheux état d'incohérence sans indiquer ni même pressentir le remède : « La Physique, dit-il, va nous présenter de nombreuses branches

presque entièrement isolées les unes des autres et dont chacune à part n'établit qu'une liaison souvent faible et équivoque entre ses principaux phénomènes. » (*Cours de philos. posit.*, leç. 28). Une condition aussi défectueuse prouve l'existence de vastes lacunes qu'il est nécessaire de combler.

Le défaut d'unité de la Physique, composé disparate de connaissances mal liées, d'études plutôt juxtaposées que concordantes, ressort de l'attribution à divers agents des diverses classes de phénomènes alors qu'on n'a pas encore de terme usuel pour désigner la force générale dont ils se partagent la puissance. Le langage autoriserait à supposer qu'en Physique il y a plusieurs forces distinctes. Les physiciens nous parlent de cohésion, de chaleur, de lumière, d'électricité ou même de deux électricités contraires, enfin de magnétisme, comme si chacun de ces modes d'action constituait un agent spécial. Seuls, les effets de sonorité, dont la cause mécanique apparaissait clairement, n'ont pas été rapportés à un principe particulier d'action. Lamarck avait pourtant proposé d'admettre, pour les expliquer, un « fluide sonore » ; mais cet agent n'a pas eu la même fortune que les autres, quoique avec un droit égal à figurer parmi les entités imaginaires. Le « fluide magnétique », imaginé par Coulomb pour correspondre aux fluides électriques de Du Fay, est allé rejoindre le fluide sonore de Lamarck au pays des chimères, depuis que la théorie de l'électro-magnétisme a démontré l'identité des deux agents. Cependant, les physiciens n'ont pas retiré de cette double leçon autant de profit qu'ils l'auraient pu faire. Ils continuent d'assigner pour cause des forces partielles aux séries de modalités et ne songent pas à chercher la cause générale qui rendrait compte de tout. L'esprit humain, habitué à se contenter de peu, semble satisfait quand il a donné pour cause à des phénomènes inconnus un agent qu'il ne connaît pas davantage et prend volontiers pour explication une simple hypothèse ontologique. Les agents qu'on fait

présider de la sorte aux groupes de phénomènes physiques sont des abstractions réalisées. Ils symbolisent des modes de perception au lieu de représenter des modes d'action et, se bornant à viser des résultantes médiatees, détournent l'attention des faits véritables. « Un examen approfondi a permis de reconnaître que cette conception de différents agents spécifiques hétérogènes n'a au fond qu'une seule et unique raison : c'est que la perception de ces divers ordres de phénomènes s'opère en général par des organes différents, et qu'en s'adressant plus particulièrement à chacun de nos sens, ils excitent nécessairement des sensations spéciales. L'hétérogénéité apparente serait moins alors dans la nature même de l'agent physique que dans les fonctions de l'appareil physiologique qui forme les sensations ; de sorte qu'en transportant, par une fausse attribution, les dissemblances de l'effet à la cause, on aurait en réalité classé les phénomènes médiateurs par lesquels nous avons conscience des modifications de la matière plutôt que l'essence même de ces modifications... Tous les phénomènes physiques, quelle que soit leur nature, semblent n'être au fond que les manifestations d'un seul et même agent primordial. » (De Sénarmont, cité par Saigey, *La Physique moderne*, p. 216.)

Il n'y a pas en Physique plusieurs forces effectives ; il n'y a qu'une cause générale d'action dont les applications et, par suite, les effets ou leurs apparences varient, mais dont l'unité se fonde sur le principe de la conservation de l'énergie et de la transformation des modes d'activité. La fiction d'agents distincts n'aurait que des inconvénients limités si les corrélations de ces agents et leur réduction à des lois communes étaient nettement établies ; mais croire à des forces à la fois séparées et connexes sans s'appliquer à instituer une théorie de leurs rapports, c'est faire de la science un chaos. On peut se former une idée de l'état d'incohérence où se trouve maintenue la Physique par la conception de ces multiples agents, en se

représentant la confusion où tomberait la Dynamique si elle admettait autant de forces indépendantes qu'elle distingue de classes de faits, c'est-à-dire une force quiescente pour l'équilibre, des forces vives pour le mouvement et même des agents spéciaux pour chaque sorte d'équilibre ou de mouvement ; une pesanteur, par exemple, pour l'équilibre stable, une autre pour l'équilibre instable, une force mouvante pour le mouvement uniforme, une seconde pour les mouvements variés, une troisième pour la rotation et une dernière pour la circulation. Voilà où en est la Physique. En tête de tous ses traités, on devrait inscrire le prudent adage d'Occam : *Entia præter necessitatem non sunt multiplicanda*. C'est assez d'un principe d'action pour constituer un ordre de connaissances, car, s'il y avait plusieurs forces, il faudrait établir plusieurs sciences. La logique exige qu'on démembre la Physique en autant de sections indépendantes qu'on spécifie d'agents, ou qu'on fasse une science unique d'études à tort isolées, en ramenant à une cause unique la pluralité des modes de l'action moléculaire. La réduction à cette unité de cause de la variété des effets est l'objet propre de la Physique générale.

Cette partie transcendante de la science des modalités ne pourra être abordée qu'après la Physique comparative, puisqu'elle doit prendre ses conclusions pour données. C'est pourquoi, celle-ci étant à peine ébauchée, la première peut tout au plus être pressentie. Nous avons, non plus à exposer des résultats, mais à tracer un plan de recherches. Toutefois, si atteindre le but est difficile, l'indiquer est chose relativement aisée. La tâche consiste à concevoir la théorie d'une force analogue à la gravitation et dont les effets, graduellement modifiés, expliquent l'ordre entier des phénomènes moléculaires. Les agents traditionnels de la Physique ne représenteraient plus alors que les modes corrélatifs d'une même cause d'action capable de produire, dans des occurrences variables, des

résultantes dont la disparité, moins réelle qu'apparente, se traduit en sensations distinctes. Essayons d'interpréter de cette manière les séries connexes de faits.

On peut définir la Physique, soit comme « science des modalités », si l'on considère seulement les effets perçus, soit comme « science des actions moléculaires », si l'on vise la cause efficiente des phénomènes. Attachons-nous à la seconde formule qui conduit plus avant dans la connaissance des choses. Tant qu'on s'est contenté d'examiner les faits dans leurs manifestations sensibles et pour ainsi dire par le dehors, la Physique générale ne pouvait pas se constituer, parce que les classes de modalités, établies en rapport avec les modes de perception, se trouvaient séparées comme eux par des différences fondamentales et d'irréparables lacunes. Les agents distincts par lesquels on tentait de les expliquer, loin d'être les applications d'une force commune, n'avaient même pas de légers rapports. Dans ces conditions, coordonner les effets physiques, dissemblables par nature, était une entreprise impossible. Leur équivalence restait un mystère et rien ne suggérait l'idée de leur unité.

Mais le point de vue change complètement lorsque, au lieu d'accepter les modalités sensibles comme les vrais phénomènes de la Physique, on les regarde comme leur aspect médiat. Tenons-les pour une résultante collective mais indirecte des actions moléculaires et, traversant les impressions qui les traduisent, cherchons à saisir le dessous qui nous échappe. Par delà les effets secondaires que la perception constate, efforçons-nous d'atteindre leur cause cachée et de concevoir par induction les états de collocation des molécules, nous verrons apparaître un principe de corrélation et d'accord. Nous pourrions alors spéculer sur la suite des effets sans être arrêtés par les solutions de continuité que nos sensations bornées laissent subsister entre les séries. Par cela seul, en effet, qu'on réduit le problème général de la science à des questions

de dynamique moléculaire, les causes des phénomènes se lient, s'expliquent les unes par les autres et forment un système logique là où les modalités sensibles ne montrent que des apparences confuses et sans relation.

Ainsi posé, le problème revient, comme l'avait déjà pressenti Huyghens, à convertir les actions physiques en fonctions dynamiques, c'est-à-dire en faits d'équilibre et de mouvement¹. Si, considérant les corps à titre d'agré-gats de molécules, on se demande quelles actions ces éléments peuvent exercer ou subir, on voit que, pour ces petites masses comme pour les grandes, tout se ramène à des influences capables de maintenir les particules en place dans certaines conditions d'équilibre ou à les déplacer dans certaines conditions de mouvement. Les mêmes lois doivent régir les corps qui tombent sous la prise de nos sens et les molécules qui leur échappent, puisque les propriétés essentielles sont les mêmes dans les deux cas et que les grandeurs seules diffèrent. La distinction, purement subjective, que le fait de visibilité ou d'invisibilité nous induit à établir entre les masses et les molécules ne change rien à la nature des choses dont l'essence reste identique. La Dynamique des molécules aurait donc comme la Dynamique des masses, à déterminer des effets spéciaux d'équilibre ou de mouvement produits par les applications variées d'une même cause d'action. Cette considération, qui nous a servi à diviser les modalités par sections, nous conduit maintenant à les unir. Prenons en main le fil des déductions dynamiques pour nous diriger dans le dédale des actions moléculaires et cherchons comment, par l'influence réciproque de l'éther sur les molécules et des molécules sur l'éther, on peut comprendre théoriquement des faits d'équilibre en rapport avec les modalités constantes et des faits de mouvement en rapport

1. *Omnium effectuum naturalium causæ concipiuntur per rationes mechanicas, nisi velimus omnem spem abjicere aliquid in physicis intelligendi. (Tr. de lumine, 1690.)*

avec les modalités changeantes. Ces cadres une fois tracés avec les subdivisions qu'ils comportent, la science verrait s'évanouir comme un vain mirage toutes les hypothèses d'agents spéciaux et de fluides qui ne correspondent qu'aux hétérogénéités de la sensation. La cohésion, le son, le chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, deviendraient alors des modes connexes d'action dont la force moléculaire serait la cause commune, et la Physique, cessant d'être un pêle-mêle incohérent de phénomènes sans lien, formerait un tout concordant malgré les lacunes de la perception. La théorie générale des modalités se réduit ainsi à étendre, au moyen du raisonnement, les relations indiquées par les lois connues de la dynamique des masses aux conditions d'équilibre ou de mouvement des molécules.

Sans doute, une théorie des actions physiques, échafaudée de la sorte, sans les indications et le contrôle de l'observation, ne sera jamais qu'une vue de l'esprit, une conception de l'entendement; mais puisqu'il ne nous est pas donné de voir comment les choses se passent dans la réalité même, force est bien de l'imaginer. Tout ce qu'on est en droit d'exiger, c'est que, en procédant ainsi par voie d'interprétations détournées, on ne s'écarte pas d'un idéal rationnel. Par une conjecture hardie qui, malheureusement, ne s'est pas encore vérifiée, Newton avait osé présumer qu'un jour les perfectionnements de l'optique réussiraient à rendre les molécules visibles. Si jamais un tel progrès se réalise, l'œil émerveillé de l'homme pourra contempler un spectacle magique et aura comme la révélation d'un nouvel univers. Il verra se mouvoir, frémir, tourbillonner et s'ordonner le monde des infiniment petits, non moins admirable pour la pensée que celui des astres. Toutefois, quand on réfléchit à l'infinité des éléments moléculaires, il y a peu d'apparence que la prédiction de Newton s'accomplisse, au moins de sitôt¹. En attendant

1. Nos microscopes les plus puissants ne saisissent que des 10,000^{es} de millimètre, tandis que les diamètres des molécules mesurent à peine

que nous ayons la claire vision des choses, il faut spéculer sur l'insaisissable et péniblement construire une théorie abstraite avec les indices de la perception pour points de repère. C'est là, pour la Physique, une difficulté très grande en comparaison de la Dynamique où tous les faits sont observables; néanmoins, cette difficulté peut être surmontée grâce au secours même de la Dynamique. Y recourir est indispensable, car si, pour concevoir l'ordre de collocation des molécules, on ne voulait tenir aucun compte des lois qui gouvernent les masses, il faudrait créer de toutes pièces une Dynamique nouvelle, sans aucune donnée de fait. Il est au contraire logique d'admettre qu'une même cause d'action, plus ou moins modifiée, détermine les situations des masses et celles de leurs moindres particules, ce qui autorise à conclure des unes aux autres et à raisonner sur l'invisible ignoré d'après le visible connu.

L'analogie n'est cependant pas complète entre les deux sortes de phénomènes et la différence des conditions où les forces s'exercent entraîne dans leurs effets une disparité profonde. Il ne faut pas s'attendre à retrouver dans le monde des molécules, et sous des dimensions simplement réduites, un ordre comparable de tous points à celui que l'observation constate dans le monde des corps. On se ferait des choses une fausse idée si l'on concevait un seul des modes de l'action physique sur le modèle exact d'un mode correspondant de l'action dynamique. La force, centralisée dans un cas et dispersée dans l'autre, agit trop diversement pour que ses effets puissent être pareils. Par suite, les termes d'équilibre et de mouvement s'appliquent à des séries dissemblables de phénomènes. Nous voulons seulement établir que, dans

des fractions de 1,000,000^e. Il faudrait donc plus que centupler la puissance de nos instruments actuels pour rendre les molécules visibles. Ce progrès n'est peut-être pas impossible, mais il est assurément malaisé, puisque tous les efforts de l'Optique, depuis trois siècles (Z. Jansen, 1590) n'ont franchi que le centième de la distance à parcourir.

L. BOURDEAU.

II. — 8

chacune d'elles, on doit spécifier d'abord des états généraux de permanence et de variabilité, puis distinguer, dans le premier, un ordre stable et un ordre instable, comme, dans le second, une variabilité restreinte et une variabilité indéfinie. Là s'arrête la similitude. Tout le reste diffère parce que les masses, les quantités, les distances, les forces et les vitesses sont trop inégales et prises pour ainsi dire aux deux extrêmes de la grandeur. La Physique générale devra donc être dynamique, sans pour cela se confondre avec la Dynamique, et se construire sur le même plan sans lui ressembler.

La difficulté d'adapter à des conditions nouvelles les lois d'une science antérieure n'est pas la seule. Les actions moléculaires, au lieu de se disposer, comme les effets de la gravité, en série unique dont tous les termes sont observables, se développent en plusieurs séries dont les résultantes sont, en partie seulement, perçues à l'aide de sens spéciaux. Les modalités nous parlent en quelque sorte des langues qui ne se comprennent pas entre elles et manquent d'interprète commun. En outre, leurs séries, au lieu de correspondre et de se suivre, sont coupées par des intervalles vides qu'il faudrait combler pour établir la continuité des faits. Enfin, les différentes classes de phénomènes physiques, se produisant toutes à la fois dans les corps, réagissent les unes sur les autres et se compensent dans une certaine mesure. Les lois de la Dynamique sont simples et, dans chaque résultante donnée, il est toujours possible d'assigner la part des puissances composantes, car elles sont de même ordre : les lois de la Physique sont au contraire complexes ; elles expriment un rapport entre des actions d'ordre différent. Les modalités s'influencent réciproquement et, à l'occasion, se suppléent. Ce que l'une perd, l'autre le gagne et, quand un effet s'évanouit, un effet corrélatif, quoique dissemblable, le remplace. La science est loin de connaître ces conditions d'équivalence et la valeur de substi-

tution des actions physiques. Cette détermination serait nécessaire pour formuler des lois d'ensemble et remonter à une cause générale.

Enfin, on ne peut pas se borner à considérer les molécules. Le principe de la force physique doit être cherché à la fois dans leur constitution et dans les propriétés de l'éther. On n'a entrevu que de nos jours la possibilité d'unir ces deux causes d'action dans une explication commune. Ørsted, un des premiers, a eu le juste pressentiment de l'importance des fonctions de l'éther dans la théorie des modalités : « Les recherches les plus récentes (celles d'Young et de Fresnel) ont, dit-il, rendu très probable cette opinion que la lumière est produite par les vibrations d'une matière très subtile, partout répandue, que l'on appelle éther. Mais, si la lumière consiste en de telles vibrations, la chaleur rayonnante doit se trouver dans le même cas. La facilité avec laquelle nous transformons l'électricité en chaleur quand nous opposons une résistance à un courant donne à penser que l'électricité ne dépend pas moins d'un état vibratoire. Les actions magnétiques sont inséparables des actions électriques et, n'en différant qu'en direction, il serait étrange qu'elles dussent être rapportées à des substances matérielles différentes. » (*L'Esprit dans la nature.*)

Lamé est un des physiiciens qui ont le plus insisté sur le rôle de l'éther dans une interprétation synthétique des faits : « L'existence du fluide éthéré est, dit-il, incontestablement démontrée par la propagation de la lumière dans les espaces planétaires; par l'explication si simple, si complète, des phénomènes de la diffraction dans la théorie des ondes; et les lois de la double réfraction prouvent avec non moins de certitude que l'éther existe dans tous les milieux diaphanes. Ainsi la matière pondérable n'est pas seule dans l'univers; ses particules nagent en quelque sorte au milieu d'un fluide. Si ce fluide n'est pas la cause unique de tous les faits observables, il doit au moins les modifier,

les propager, compliquer leurs lois. Il n'est donc pas possible d'arriver à une explication rationnelle et complète des phénomènes de la nature physique sans faire intervenir cet agent dont la présence est inévitable. On n'en saurait douter, cette intervention, sagement conduite, trouvera le secret ou la véritable cause des effets qu'on attribue au calorique, à l'électricité, au magnétisme, à l'attraction universelle, à la cohésion, aux affinités chimiques; car tous ces êtres mystérieux et incompréhensibles ne sont au fond que des hypothèses de coordination, utiles sans doute à notre ignorance actuelle, mais que les progrès de la véritable science finiront par détrôner. » (*Mémoire sur les lois d'équilibre du fluide éthéré, conclusion. Journal de l'école polytechnique*, t. XIV, cah. 23.)

« La physique de l'avenir, dit de même M. Tyndall, consistera certainement pour la plus grande part dans la recherche des relations qui existent entre la matière ordinaire de l'univers et l'éther si merveilleux au sein duquel cette matière est plongée. » (*La Chaleur*, p. 374.) Là est en effet le nœud de la Physique générale. Les deux sortes de matière, pondérable et impondérable, étant partout en présence et en réaction l'une contre l'autre, la loi de leurs rapports, au double point de vue de l'équilibre et du mouvement, doit dominer la genèse entière des modalités. L'influence de l'éther est prépondérante dans la nature physique, en raison de son expansion et de sa puissance également infinies. Son activité peut seule expliquer l'ensemble des phénomènes et servir de lien aux actions moléculaires. Le P. Secchi, dans son ouvrage sur *L'Unité des forces physiques*, a présenté une esquisse de coordination de ce genre et sa tentative de synthèse, quoique manifestation prématurée, engage, croyons-nous, les recherches dans la véritable voie.

Une théorie générale des effets physiques devrait établir la cause des modalités constantes, celle des modalités variables et la loi qui exprime leur accord.

PHYSIQUE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE MODALITÉ

<i>a.</i> Cause des effets de la cohésion dans les solides.	<i>b.</i> Cause des effets de la cohésion dans les fluides.	<i>a.</i> Cause des conditions générales des sons.	<i>b.</i> Cause des qualités spéciales des sons.	<i>a.</i> Cause des effets thermiques.	<i>b.</i> Cause des effets lumineux.	<i>a.</i> Cause des effets électriques.	<i>b.</i> Cause des effets magnétiques.
A. CAUSE DES EFFETS DE COHÉSION.		B. CAUSE DES EFFETS DE SONORITÉ.		A. CAUSE DES EFFETS DES ACTIONS VIBRATOIRES.		B. CAUSE DES EFFETS DES ACTIONS DE COURANT	
1. CAUSE DES EFFETS DE STATIQUE MOLÉCULAIRE				2. CAUSE DES EFFETS DE CINÉTIQUE MOLÉCULAIRE.			

UNITÉ DES FORCES PHYSIQUES

1. — CAUSE GÉNÉRALE DES EFFETS DE STATIQUE
MOLÉCULAIRE

En Dynamique, l'équilibre des masses résulte du conflit de deux forces opposées et constantes, la pesanteur et l'impénétrabilité, qui se font obstacle l'une à l'autre parce que la première appelle les masses vers un centre tandis que la seconde les empêche d'y parvenir. Quand ces deux actions contraires se neutralisent, on a un mouvement suspendu, c'est-à-dire une condition où les corps s'immobilisent et qui, d'elle-même, ne change pas. En Physique, l'ordre stable des molécules, d'où résulte la persistance de l'agrégat, doit avoir une cause analogue, et s'expliquer par l'antagonisme de deux forces qui se neutralisent réciproquement. Ces forces, qui sont ici la tension générale du milieu et la puissance de mouvement propre aux molécules, mises en présence par le fait même de l'existence des corps au sein de l'éther, arrivent à se balancer dans des conditions fixes qui imposent aux molécules des états déterminés d'équilibre. Examinons leurs rapports probables dans les deux cas de stabilité et d'instabilité, c'est-à-dire de la cohésion et du son.

A. — Cause des effets de la cohésion.

Pour rendre compte des effets de la cohésion, les physiiciens avaient d'abord eu recours à l'hypothèse d'une « attraction moléculaire ». Ils admettaient que, conformément aux lois de la gravitation universelle qui doivent régir la matière pondérable à tous les degrés d'agglomération, les molécules s'attirent en raison directe de leurs masses et en raison inverse du carré des distances. Mais, pour les particules comme pour les corps, l'attraction est une qua-

lité occulte, une cause incompréhensible d'action, puisqu'elle ferait agir la force ailleurs qu'où elle réside. Il faut donc supposer un intermédiaire dynamique, une substance interposée qui transmette le mouvement. Or, cet intermédiaire ne peut être que l'éther qui, partout répandu, exerce des pressions sur tous les corps en vertu de son élasticité.

Représentons-nous les molécules animées d'un mouvement plus ou moins rapide de rotation. En tournant sur elles-mêmes, elles doivent refouler l'éther autour d'elles et s'envelopper de petites atmosphères raréfiées qui, assujetties à leur dépendance, constituent pour chacune d'elles une sphère propre d'activité dont la grandeur se mesure à sa puissance de mouvement. Dès lors, il y a conflit permanent entre l'éther raréfié qui entoure les molécules et la masse de l'éther ambiant qui conserve sa tension normale. Une balance s'établit au point où les deux forces se font équilibre. Si maintenant, au lieu de molécules isolées au sein de l'éther, on considère des molécules agrégées, en situation de réagir les unes sur les autres, divers cas pourront se produire d'où résulteront les effets spéciaux de la cohésion.

a. — Supposons d'abord que la force d'élasticité de l'éther, qui est fixe, l'emporte sur la puissance de mouvement des molécules, qui est variable et dépend de leur vitesse de rotation en rapport avec la chaleur : les molécules, soumises à la pression de l'éther ambiant, se rapprocheront les unes des autres, par une action de gravité, jusqu'à ce que leurs atmosphères, se pénétrant en partie, opposent, par leur réaction mutuelle, un obstacle à la force centripète. Mais, devenues ainsi solidaires, elles devront coordonner leurs mouvements, les ramener à une vitesse uniforme et orienter pareillement leurs axes dans le sens de la moindre résistance. Comme effet total de la résultante produite, on aura un corps solide, de forme et de dimensions constantes, capable de résister dans une certaine

mesure aux influences perturbatrices et qui persistera sans fin de lui-même dans le même état. Les propriétés de dureté, de rigidité, d'élasticité, de malléabilité, de ductilité, pourront tenir à des conditions particulières de cohésion et avoir pour cause la grandeur, la puissance d'action des molécules, leurs distances, leur vitesse de mouvement, l'étendue et le degré de pénétration de leurs atmosphères...

b. — Un autre effet se produit lorsque les molécules, animées d'un mouvement de rotation plus rapide et, par conséquent, d'une force répulsive plus grande, s'écartent les unes des autres à une distance telle que leurs atmosphères, au lieu de se pénétrer, ne fassent plus que s'effleurer. Liées par une demi-cohésion qui les empêche de se disjoindre, elles tournent en ce cas les unes autour des autres, mais ne sont plus contraintes de coordonner leurs mouvements et, chacune d'elles conservant sa mobilité tangentielle, l'assemblage réalise l'état liquide.

Enfin, si l'action répulsive, encore accrue par une accélération du mouvement rotatoire, écarte assez les molécules pour les soustraire à leur influence réciproque et les isoler dans leur sphère propre d'activité, les atmosphères n'auront plus de contact permanent et tout indice de cohésion disparaîtra. Les éléments des corps, projetés en ligne droite, réagiront les uns sur les autres par une série de chocs qui les feront aussitôt rebondir et développeront dans la masse une puissance expansive. La pesanteur, faisant obstacle à leur diffusion, maintiendra seule les molécules à des distances moyennes et leur imposera des conditions communes d'équilibre. Les corps se trouveront alors à l'état gazeux.

La double influence de l'action exercée par l'éther ambiant sur les atmosphères des molécules et de la réaction due à la puissance de mouvement qui les anime, pourrait donc expliquer l'ordre stable de collocation qu'exprime la

persistance d'état des corps et motiver leurs principaux changements à des phénomènes limites entre lesquels se déploient les effets de la cohésion. Cette force agit en raison directe du pouvoir qui porte les molécules à se rapprocher et en raison inverse de celui qui les porte à se repousser. Selon le rapport des deux facteurs, les intervalles moléculaires augmentent ou diminuent et les conditions d'équilibre varient. La cohésion est le plus énergique dans les solides où les molécules, très voisines, empiètent réciproquement sur leurs atmosphères ; faible dans les liquides où son action se borne à maintenir les atmosphères en contact, elle est presque nulle dans les gaz dont les molécules sont trop distantes pour agir les unes sur les autres et s'assujettir à un ordre fixe.

B. — Cause des effets de sonorité.

Dans les phénomènes de cohésion, deux forces, l'une et l'autre constantes, déterminent par leur rapport l'ordre stable de collocation des molécules agrégées. Considérons maintenant le cas où cet ordre éprouve, par le fait de forces accidentelles, des perturbations qui le modifient momentanément sans le détruire : les molécules entrent alors dans une condition d'équilibre instable que signale le son. Le problème de la Phonologie générale consisterait à montrer de quelle manière et dans quelle mesure une action dynamique (choc) se décompose et se répartit en actions physiques, ébranle les molécules directement atteintes, les refoule sur les molécules voisines et provoque en elles des réactions répulsives. La série de ces mouvements alternatifs se transmet de proche en proche à tous les éléments du système, puis aux systèmes voisins et cette agitation rythmique se traduit en ondes sonores. Les molécules, sans sortir des limites où l'empire de la cohésion suffit à les retenir, ne gardent plus les unes par rap-

port aux autres des situations fixes, mais oscillent, comme un pendule mis en impulsion, autour de leur position normale et tendent à y revenir par une succession de mouvements décroissants. Les effets, passagers parce que leur cause est transitoire, s'atténuent graduellement à mesure que la force se dissipe et le trouble dont le son est l'indice cesse par le retour des molécules aux places que leur assigne la stabilité de l'ensemble. La production des phénomènes acoustiques serait à interpréter de la sorte au point de vue :

a. — D'abord de l'intensité des sons, qui dépend de l'énergie des ébranlements moléculaires, et de leur vitesse de propagation, qui résulte de l'élasticité des milieux ou de leur aptitude à transmettre les mouvements vibratoires;

b. — Puis de la hauteur et du timbre des sons, c'est-à-dire du nombre des vibrations exécutées dans un temps donné et de l'entrecroisement interne des ondes, effets qui tiennent à la forme et à la nature des corps.

La loi commune de cette classe de modalités devrait donc pouvoir s'exprimer par une formule de mouvements moléculaires en rapport avec les conditions d'équilibre qu'impose la cohésion ; mais tant qu'on ne saura pas d'une manière précise comment agit la force qui assure la stabilité des molécules, il sera difficile d'expliquer les effets de sonorité qui se bornent à modifier temporairement son ordre.

Ainsi la cause des modalités permanentes serait à chercher dans l'influence qu'exercent en sens contraire l'éther par son élasticité générale et les molécules par leur puissance d'action. De ces deux forces, l'une est fixe, l'autre variable. Leur rapport, maintenu stable dans des condi-

tions déterminées, produit les phénomènes de cohésion, et, troublé momentanément, les phénomènes de sonorité. Tout se réduit, en définitive, aux réactions réciproques des atmosphères des molécules sous la pression constante de l'éther. La puissance d'expansion de ces effets est donc très bornée. Ils ne portent pas atteinte à l'équilibre de l'éther et ne ressentent pas le contre-coup de ses agitations.

2. — CAUSE GÉNÉRALE DES EFFETS DE CINÉTIQUE MOLÉCULAIRE

Tandis que les effets statiques résultent de la tension uniforme de l'éther, les effets cinétiques se lient à ses modes de mouvement qui consistent soit en vibrations accomplies entre ses bornes d'élasticité, soit en déplacements effectifs de la substance éthérée circulant sous forme de flux. La première cause produit les actions rayonnantes et la seconde les actions de courant.

A. — Cause des actions rayonnantes.

L'éther, sans franchir les limites assignées à son élasticité, peut être agité de mouvements vibratoires analogues à ceux qui déterminent les sons, mais infiniment plus courts et plus rapides. Ils se propagent de même en ligne droite, dans tous les sens, à partir du centre d'ébranlement et donnent lieu à deux sortes d'actions rayonnantes qui constituent la chaleur et la lumière.

a. — Newton dans ses « *Questions d'Optique* » avait

affirmé que la chaleur est un simple mode de mouvement, mais il n'avait pas osé tenter d'en établir la théorie. De nos jours, on peut entrevoir la solution du problème. L'action thermique paraît, en principe, se confondre avec la rotation des molécules. Si l'on suppose que la chaleur accrue a pour effet de précipiter leur mouvement giratoire, elle doit, par cela même, les animer d'une force de répulsion plus grande et les écarter les unes des autres. Elle agit donc en sens inverse de la cohésion et dilate les corps. La chaleur diminuée produit des effets contraires. Lorsque, par suite d'un abaissement de température, les molécules tournent plus lentement sur elles-mêmes, la puissance de réaction qu'elles avaient à l'état gazeux décroît, elles se rapprochent jusqu'au point où leurs atmosphères se touchent et, perdant alors leur force de projection, passent à l'état liquide. Un nouveau refroidissement venant à les rapprocher plus encore, elles entrent dans leurs sphères réciproques d'activité et concertent leurs mouvements en donnant aux axes de rotation une orientation commune. En cet état, les molécules, privées de leur mobilité tangentielle, constituent un agrégat fixe, un solide, où la cohésion prévaut. Chacun de ces changements entraîne une perte de force vive dont on a la mesure par la chaleur dégagée ou absorbée dans les changements d'état. Ce qu'un corps absorbe de chaleur latente quand il passe de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état gazeux, révèle une transformation de la force en mouvement moléculaire, comme le dégagement de chaleur latente par un gaz qui se liquéfie ou un liquide qui se solidifie, une transformation du mouvement moléculaire en force libre, les quantités étant égales dans les deux cas. Un solide exige pour se fondre moins de chaleur qu'un liquide pour se vaporiser. Le travail accompli n'est pas en effet le même. Pour liquéfier un solide, il faut 1° écarter les molécules jusqu'au point où leurs atmosphères, au lieu de se pénétrer, ne font

plus que s'effleurer ; 2° rompre le synchronisme d'oscillation des groupes ; 3° désorienter les axes de rotation. La réduction d'un liquide en gaz doit écarter davantage les molécules, les rendre tout à fait indépendantes en brisant le lien de cohésion qui les unit et les animer d'un mouvement de projection rectiligne. Les résistances à vaincre sont plus grandes dans le second cas : le travail nécessaire pour liquéfier la glace est à celui de la vaporisation de l'eau dans le rapport de 79,4 à 537.

b. — La lumière résulte d'un mouvement vibratoire analogue à celui dont la chaleur est l'effet, mais plus rapide encore et capable de produire des phénomènes divers. Les vibrations optiques de l'éther, au lieu de se disposer en série unique, comme le font les précédentes sur l'échelle des températures, comportent des degrés distincts d'accélération et se répartissent en séries qui s'entrecroisent pour produire les couleurs.

Les deux modes de l'action rayonnante, liés par d'étroites corrélations, doivent leur ressemblance générale à ce qu'ils procèdent également d'un mouvement rectiligne accompli dans les limites d'élasticité de l'éther. Seulement, le premier suit dans le développement de ses effets une progression régulière, tandis que le second admet des variations par séries. Ils reproduisent ainsi, dans la théorie physique, les deux sortes de mouvements directs, uniformes dans un cas, variés dans l'autre, qu'établit la théorie dynamique.

B. — Cause des actions de courant.

Les actions vibratoires agitent sur place l'éther sans rompre son équilibre ; les actions circulatoires l'en-

traînent hors de ses limites d'élasticité et contraignent sa substance à se déplacer sous forme de courants. Pour rendre compte de cette classe d'effets, il faudrait avoir quelques données sur les conditions de translation de l'éther ; mais les modalités qui leur correspondent sont encore si peu connues qu'il n'est guère possible d'instituer à cet égard une théorie rationnelle.

a. — Il est seulement vraisemblable que les effets électriques se lient à un mode de mouvement de l'éther dont la résultante offre de l'analogie avec la rotation des masses, car des tendances centrifuges disposent alors la substance éthérée à se porter de l'intérieur vers la surface des corps, à produire des phénomènes de polarité et à se répandre en courants dans les conducteurs. Lorsque les molécules d'un agrégat ont leurs axes orientés dans le même sens et leurs mouvements coordonnés, la moindre cause de perturbation doit contraindre une partie de leurs atmosphères ou l'éther interposé à chercher de nouvelles conditions d'équilibre, à s'écouler en formant un flux et à circuler dans les corps qui lui livrent passage comme dans des canaux naturels.

b. — Un mode plus général de mouvement, faisant ensuite réagir ces courants entre eux, les harmonise et détermine, non plus dans un corps ou dans un système de corps, mais dans tout l'ensemble, des résultantes magnétiques qui se subordonnent par séries.

Les actions électriques et les actions magnétiques, double effet de la même cause, se trouvent conséquemment unies par un rapport comparable à celui qui, en Dynamique, rattache la circulation à la rotation.

Enfin, par une relation plus lointaine, les actions rayon-

nantes et les actions de courant pourraient dériver d'un même principe d'activité, car là où des vibrations se produisent, des courants tendent à s'établir et les courants à leur tour occasionnent des mouvements vibratoires. Une même loi régirait ainsi les deux modes d'agitation de l'éther et ses conséquences expliqueraient les effets variables de la Physique. Comme la cause d'action réside alors dans l'ébranlement ou la translation de la substance éthérée, les modalités qui en résultent ont une puissance d'expansion indéfinie. Mais leur complexité ne permet pas encore à la science d'en saisir nettement le mécanisme. Si l'unité de cause paraît certaine, la liaison des effets a ses obscurités et ses lacunes. On ignore leur rapport d'équivalence, leur valeur de substitution. Faute de données suffisantes, la formule intégrale de la cinétique moléculaire reste à l'état de problème. La Physique générale doit attendre sur ce point les progrès de la Physique comparée.

CONCLUSION

Dans l'ordre le plus étendu des corrélations physiques, il y aurait, pour conclure, à montrer la connexité des deux modes statique et cinétique de l'action moléculaire. La science possède une première indication dans le rapport de la cohésion et de la chaleur. Mais, quelle que soit l'importance de cette donnée, elle ne représente qu'un anneau, alors qu'on voudrait une chaîne. Il n'est pas actuellement possible d'esquisser la synthèse de l'ensemble et de coordonner dans une conception rationnelle la suite entière des faits de modalité. L'avenir saura sans doute accomplir cette grande tâche et dégager une loi générale qui, analogue à celle de la gravitation, rendra compte de la totalité des phénomènes physiques.

Il est infiniment probable que la force moléculaire se

rapproche beaucoup de la gravité si même, en principe, elle ne se confond pas avec elle. Dès le début, Newton avait signalé leur analogie, tout en prenant soin de les distinguer par les termes d' « attraction universelle » et d' « attraction moléculaire ». On devrait concilier, dans les deux cas, l'identité de cause avec la disparité des effets, en tenant compte de la différence entre les masses régies et les ordres de collocation qu'elles comportent. Peut-être la gravitation, lorsqu'elle s'exerce sur des particules infimes, à de très courtes distances, agit-elle autrement et avec plus d'énergie que lorsqu'elle s'exerce sur des masses, à de notables distances. Une force qui augmente en raison géométrique quand la distance diminue en raison arithmétique, gagne vite en importance à mesure que les intervalles décroissent et doit finir par vaincre toute résistance donnée. La dissemblance des deux modes d'action pourrait aussi tenir, selon l'hypothèse de Laplace, à ce que les dimensions des molécules étant très petites en comparaison des distances qui les séparent, leur densité propre serait sensiblement supérieure à la moyenne densité des corps constitués par leur assemblage (*Exposition du système du monde*, liv. 4, ch. XVIII). La force moléculaire représenterait alors un cas spécial de la gravitation universelle, son application à des masses très petites, mais très denses et très rapprochées. Dans un système de molécules en situation de s'influencer l'une l'autre, chacune d'elles serait plus attirée par les molécules voisines que par la masse du corps dont elle fait partie et, à plus forte raison, par les masses distantes, quelle que soit leur grandeur. Elle se trouverait ainsi liée par des relations de proximité qui ne permettraient plus à la pesanteur d'agir que subsidiairement sur des groupes, par une résultante d'ensemble. Les molécules, affranchies de sa dépendance directe ou plutôt dominées par une autre force, se coordonneraient entre elles sous des lois déterminées d'équilibre et de mouvement. Il y aurait donc un

degré d'exiguïté pour les masses et de petitesse pour les distances où l'attraction universelle se changerait en attraction moléculaire, c'est-à-dire la gravité en force physique. Ce mode d'action, une fois établi avec ses conditions particulières, développerait sa puissance en séries d'effets qui correspondent aux classes de modalités.

L'action physique, moins simple que la gravité, puisque, au lieu de se résumer pour les corps dans un centre unique, elle est dispersée et active dans une infinité de centres, produit des effets aussi variés que les précédents sont uniformes. Néanmoins, si la première de ces forces diffère de la seconde par la complication de ses modes, elle lui ressemble par la loi générale de son activité qui s'exerce de même en raison directe de l'énergie et en raison inverse du carré des distances. Cette formule, qui trouve son application dans une multitude de cas afférents aux diverses catégories de phénomènes physiques, autorise à admettre l'assimilation des deux forces et donnera quelque jour le moyen de conclure à leur réelle identité.

On voit combien d'obstacles arrêtent encore la spéculation dans ses tentatives de synthèse. La détermination du principe de l'action physique impliquerait une connaissance préalable des modes soit d'équilibre, soit de mouvement des molécules et de l'éther. La matière pondérable et la matière impondérable, partout en présence et en réaction, s'influencent l'une l'autre. De leur accord et de leurs conflits résulte l'ordre des modalités sous la loi d'un dynamisme composé. Mais les données nécessaires pour en dégager la formule font absolument défaut. On ignore les quantités, les grandeurs, les poids et les distances des molécules dans les diverses sortes de corps, la force qui les anime, leur vitesse de rotation ou de translation, l'étendue de leurs atmosphères, l'amplitude des mouvements que leur élasticité comporte. On ne sait pas davantage les conditions statiques et cinétiques de l'éther,

sa tension moyenne, ses limites d'élasticité, ses modes de déplacement et les réactions qui se produisent dans son sein. Enfin, on ne connaît pas la manière dont les modes de l'action physique se transforment et se compensent. Quand une longue suite de recherches analytiques aura porté la lumière sur tous ces points encore si obscurs et réuni ce que la théorie exigerait de notions précises, la loi universelle des phénomènes de modalité ne restera pas longtemps cachée et la diversité des cas se laissera sans trop de peine ramener à l'unité d'explication.

Le problème posé par la Physique générale était, il faut en convenir, bien autrement difficile à résoudre dans son ensemble que celui de la Dynamique générale. L'étude des actions de la gravité, dont tous les effets sont observables et se disposent en série continue, conduisait à leur assigner une cause simple sur la détermination de laquelle on ne pouvait hésiter longtemps puisqu'on en retrouvait partout la formule. Les modalités, au contraire, multifformes d'aspect et scindées en séries distinctes, semblaient de prime-abord rebelles à tout essai de coordination. Pour arriver à concevoir la cause unique de phénomènes si divers, il fallait suivre des voies détournées et deviner plutôt que constater. Quand on considère l'état d'imperfection où se trouve encore la dynamique des fluides, l'ignorance où nous sommes de la dynamique des molécules et de celle de l'éther n'a rien qui doive surprendre. Là, les effets immédiats se dérobent à la perception et l'on n'a pour indices que les résultantes indirectes d'une mécanique invisible qu'on doit interpréter par induction. L'édifice entier de la science est donc à construire avec des matériaux théoriques, dans un monde idéal et sur un plan tout différent de celui que la sensation ferait pressentir. Ce plan, jusqu'ici, n'existe qu'à l'état d'ébauche. Quoique les physiciens aient soumis à l'analyse un grand nombre de phénomènes, ils ne sont point encore parvenus à fonder sur une base mathématique le principe des actions moléculaires.

Voilà le but où doivent désormais tendre les efforts de la science. La Physique attend un autre Newton doué, s'il se peut, de plus de génie que le premier. Son Kepler même n'est pas venu. Elle en est encore à Copernic ou pour mieux dire à Pythagore.

CHAPITRE III

MÉTHODE DE LA PHYSIQUE, DE L'EXPÉRIMENTATION

Il nous reste à exposer la méthode spéciale dont la Physique doit faire usage dans ses recherches, car les modes antérieurs d'investigation étaient d'une insuffisance notoire pour l'étude des modalités.

L'intuition signale bien, à l'aide de divers sens, la manière d'être des choses; mais elle ne fait connaître les phénomènes moléculaires ni entièrement, ni sûrement, ni sous leur véritable aspect. Les organes de perception les mieux appropriés à l'exploration physique ne livrent que des renseignements dont l'étendue et l'exactitude laissent également à désirer. Les indications du toucher, formelles pour les solides, quoique impuissantes à donner la mesure des effets de la cohésion, sont incertaines pour les liquides et presque nulles pour les gaz. Nos impressions thermiques, extrêmement bornées, parcourent moins de cent degrés sur l'échelle sans fin des températures. Elles ne discernent pas les corps très chauds des corps très froids parce que les uns et les autres, désorganisant les tissus, produisent une sensation égale de brûlure. Même entre les limites où son activité s'exerce, le sens de la chaleur manque de précision. Son efficacité se réduit à constater si la température des corps est inférieure

ou supérieure à notre température propre (d'environ 37°) qui marque le 0 de la sensibilité. La distinction, toute subjective, du chaud et du froid, signifie seulement que, dans un cas, les corps nous cèdent de la chaleur et, dans l'autre, nous en soutirent. Le sens de ces termes, modifié à l'occasion par des comparatifs ou des superlatifs, est toujours indécis et vague. En outre, les sensations thermiques varient selon la disposition de l'organisme et attribuent, par contraste ou par circonstance, des valeurs différentes à une température fixe. Avant l'invention des thermomètres, les caves et l'eau des puits étaient réputées chaudes en hiver et fraîches en été, alors qu'elles ont une température à peu près constante. Une petite expérience montre clairement la relativité de nos impressions à cet égard : si, après avoir tenu quelques instants une main dans de l'eau chaude et l'autre dans de l'eau froide, on les trempe toutes deux dans de l'eau tiède, ce nouveau milieu paraît simultanément froid à la première et chaud à la seconde. Un sens sujet à se tromper de la sorte avait grand besoin d'être contrôlé. — Non moins faillibles, l'ouïe a ses illusions, la vue ses méprises. Quand on sépare, dans le dernier sens, les données d'ordre et de grandeur, qui concernent les masses et doivent en partie leur exactitude au sens musculaire, des sensations plus particulièrement physiques de lumière, on voit combien nous sommes aisément déçus par elles. L'œil apprécie mal les degrés de l'intensité lumineuse et juge diversement des couleurs. Il suffit d'une qualité de lumière, d'un effet de contraste ou d'un défaut organique (daltonisme), pour l'exposer à de fréquentes erreurs.

Outre ces imperfections, que l'expérience peut corriger dans une certaine mesure, la perception a ses lacunes qui sont irréparables. La suite des effets physiques, qui se développe sans discontinuité dans la nature, est coupée, pour la sensation, en sections distinctes séparées par des intervalles vides. Nos organes ne saisissent que des frag-

ments de série et, quand on les rapproche, ces tronçons disparates se refusent à former un tout. L'impuissance de la perception est même complète à l'égard de séries entières comme celles des phénomènes électriques et magnétiques. Aussi, pendant de longs âges, l'homme n'a-t-il pas même soupçonné l'existence de ces effets si importants, mais qui se produisent autour de lui sans l'impressionner.

On arguë parfois, contre l'hypothèse de sens plus nombreux, de l'impossibilité où nous serions d'en imaginer d'autres que ceux dont nous disposons. Sans sortir des considérations physiques, il serait aisé de concevoir bien des sens nouveaux dont la possession aurait été avantageuse, quoique nous ne soyons pas en mesure de dire quelle eût pu être leur construction. Des modifications du toucher, ajoutant à sa délicatesse, nous feraient utilement juger des propriétés des solides et connaître la condition moléculaire soit des liquides, soit des gaz. Il y aurait même place pour un sens hygrométrique, apte à percevoir le degré d'humidité de l'air et l'on soupçonne que, chez quelques insectes, les antennes en remplissent les fonctions. Une ouïe plus subtile percevrait les ondes sonores au-dessous de 16 et au-dessus de 38 000 vibrations par seconde. On pourrait alors, comme les héros des contes populaires, entendre pousser l'herbe dans les prés et croître la laine sur le dos des moutons. Un sens spécial nous conduirait de la limite d'audibilité des sons les plus aigus aux moindres vibrations de la chaleur obscure qu'on ait pu mesurer jusqu'ici (40 000 000 000 000 par seconde) et qui sont aux plus rapides de l'acoustique dans le rapport de 800 à 1 (Secchi, p. 179). Un sens moins borné de la chaleur nous signalerait les effets thermiques dans toute la suite de leurs développements, tenant lieu de thermomètres et de pyromètres à graduations indéfinies. Une seconde vue, plus parfaite que la première, nous rendrait sensibles à de moindres ou à de plus grandes intensités lumineuses et nous permettrait, selon les cas, de nous diriger comme

les chats dans de profondes ténèbres ou, comme l'aigle, de fixer sans éblouissement le soleil. En même temps, sa puissance accrue la rendrait apte à percevoir, mieux que le meilleur microscope, les particules infimes, les molécules ou même les atomes et, mieux que le meilleur télescope, les objets à toute distance. Plus impressionnable aux vibrations lumineuses extrêmes, elle nous révélerait, dans l'infra-rouge et dans l'ultra-violet, les 9/10^{es} du spectre que nous ne connaissons pas. Il suffirait que notre gamme des couleurs fût élevée ou abaissée, pour que nous vissions les choses sous un autre jour. Enfin, des sens particuliers dont nous n'avons pas idée nous feraient saisir les effets électriques et les effets magnétiques en modifiant l'état moléculaire d'une partie de l'organisme à l'unisson de ce qui se produit dans un conducteur ou un aimant. — On voit combien il y aurait à combler de lacunes dans notre organisation pour l'adapter à une exploration physique complète. Ces lacunes se retrouvent dans notre science et, avant que la limite d'impressionnabilité de nos organes soit atteinte ou quand elle est dépassée, les phénomènes restent inaperçus. Nous n'avons ainsi que des échappées sur la nature dont l'ordre comporterait une multitude d'aspects. Des êtres qui, privés de nos sens, posséderaient quelques-uns de ceux que nous venons d'indiquer, auraient du monde une conception toute différente de la nôtre.

La sensation, réduite à constater des séries discontinues d'apparences, laissait donc ignorer la suite des phénomènes, leurs causes, leurs corrélations et leurs lois. Elle engageait même l'hypothèse dans de fausses voies, parce que la diversité des modes de perception suggérait l'idée d'une multiplicité d'agents là où une seule force agissait. Si l'on a jusqu'ici méconnu l'unité des actions physiques, cela tient à l'illusion, d'abord inévitable, causée par la dissemblance des impressions perçues. On peut même dire, d'une manière générale, qu'en fait de modalités, la sensa-

tion nous abuse par un continuel prestige. Elle ne nous ouvre pas d'accès direct dans le monde mystérieux des phénomènes moléculaires, et ses données, relatives à des résultantes médiates, ont besoin d'être interprétées. Nous sommes dupes d'un mirage quand nous croyons à la réalité des sons, des températures ou des couleurs. Ce sont là de simples effets nerveux occasionnés par des actions dont le mécanisme nous échappe. S'en tenir à ces apparences serait ressembler à un homme qui, ne sachant rien du travail accompli dans une manufacture, voudrait en juger du dehors et croirait qu'elle se borne à produire du bruit et de la fumée. La science ne pouvait donc pas se constituer avec les seules ressources de l'intuition. Elle devait établir d'autres moyens de recherche et remonter des phénomènes sensibles aux variations d'état moléculaire qui leur correspondent.

La déduction n'aurait pas été moins impuissante à démontrer les vérités de la Physique avec le secours exclusif du raisonnement, puisque la spéculation portait, non plus sur des concepts abstraits dont l'ordre de dérivation logique ne réclame qu'un point de départ évident, mais sur des faits contingents qui sont ce qu'ils sont et ne représentent ni des axiomes, ni des conséquences d'axiomes. Sans doute, une fois ces faits constatés, la science peut en tirer des séries de corollaires qui se déduisent les uns des autres; mais les prémisses, au lieu de s'imposer d'elles-mêmes, ne sont admises qu'à titre de vérités établies, et leur acquisition nécessite l'emploi d'une autre méthode. Remarquons en outre que, lorsque le raisonnement s'exerce sur des faits dont la connaissance est plus ou moins imparfaite, il n'a pas la même infailibilité que lorsqu'il se rattache à des principes manifestes où nulle erreur ne se tient cachée. En Mathématique, la déduction est sûre parce que, partant d'axiomes absolus, elle se borne à prolonger leur évidence et amène successivement à la lumière, par voie de démonstration, les

vérités implicites que leur généralité contenait. En matière de faits, au contraire, la certitude peut faire défaut à l'origine même du raisonnement. Si, comme il arrive trop souvent, la donnée première est inexacte, toutes les conséquences qu'on en tire sont fautives, et la meilleure logique ne réussit qu'à multiplier les erreurs parce qu'elle étend plus loin les déductions. La méthode mathématique doit donc être appliquée avec circonspection en Physique. La principale garantie consiste à mettre d'abord la réalité des faits hors de doute et la déduction n'est pour cela d'aucun secours.

Enfin, l'observation n'avait pas de prise immédiate sur les phénomènes physiques, parce que son efficacité se borne à déterminer des situations de masses, c'est-à-dire à mesurer des dimensions, des distances, des angles, des poids et des temps. Or, les molécules, invisibles et intangibles, se dérobent à nos tentatives de mensuration et leur ordre de collocation est insaisissable. Comme les effets de la pesanteur se développent en raison directe des masses et en raison inverse des distances, ils sont le plus sensibles dans les corps les plus grands ou les plus proches et par conséquent toujours observables, car, quand ils cessent de l'être, c'est dans de telles conditions de petitesse ou d'éloignement qu'on peut négliger d'en tenir compte, la puissance étant alors, pour ainsi dire, réduite à rien, au point où l'observation se trouve placée. L'action physique, au rebours, se produit entre des particules imperceptibles, et nous n'en sommes avertis que par des résultantes médiates. Les éléments d'une détermination dynamique font ainsi défaut. Tout se passe hors de la portée du toucher et de la vue. La conception même d'un état moléculaire est l'œuvre de l'induction. Sans doute, le physicien est tenu d'observer et de reconnaître les positions respectives des corps en tant qu'elles se lient, comme effet ou comme cause, à des conditions de modalité; mais c'est là un moyen sommaire d'exploration qui ne révèle

rien du détail, et, pour découvrir le mécanisme des actions moléculaires, il faut traverser l'observation, non s'y tenir.

L'étude des phénomènes physiques, inabordable par les méthodes antérieurement constituées, exigeait donc une méthode spéciale qui, mettant à profit leurs ressources et y ajoutant un artifice nouveau, accrût leur puissance d'investigation. Cette méthode s'appelle l'« expérimentation » (de *experiri*, éprouver).

Le problème de la Physique, moins simple que celui de la Dynamique, ne se borne plus à constater, dans une série unique, les effets graduels d'une même cause d'action, tâche relativement aisée à laquelle l'observation pouvait suffire ; il impose l'obligation de scruter diverses séries de phénomènes qui se produisent ensemble et tantôt s'accordent, tantôt se neutralisent ou se compensent. Il faudrait tenir compte, dans l'explication des faits, de différentes causes d'action et pouvoir les disjoindre pour les caractériser chacune à part, les combiner pour surprendre les relations qui les lient, enfin les comparer pour avoir la mesure de leur puissance à tous les degrés. Là où des agents divers, mais corrélatifs, interviennent simultanément, l'unique moyen de démêler leurs effets consiste à les isoler et à les associer tour à tour dans des occurrences variées. La nature, dont l'ordre obéit à des nécessités générales, sans souci de nos convenances particulières, n'opère que par exception sous nos yeux cette analyse instructive. La science l'effectue avec méthode au moyen de l'expérimentation qui lui livre la direction même des faits. Ce procédé de recherche consiste à simplifier et à compliquer alternativement les conditions des phénomènes, de manière à montrer les influences qui les déterminent ou les modifient. Il applique, dans des circonstances facultatives, mais toujours bien définies, les modes de l'action physique, en vue de faire discerner le rôle propre à chacun d'eux.

On doit à Bacon¹ une théorie de l'expérimentation que Stuart Mill a complétée. Le premier a fixé les manières d'opérer par ses trois tables : « de présence », « d'absence » et « de degré », qui constituent les trois méthodes du second. Pour reconnaître, dans un pêle-mêle de circonstances accessoires, la cause réelle du phénomène, il faut, par une triple épreuve : 1° constater les divers cas où le phénomène se produit et dans les circonstances desquels sa cause se trouve cachée (méthode de concordance de Mill); 2° comparer ces cas, afin de voir quelles circonstances peuvent être éliminées sans que l'effet disparaisse et quelles, inséparables de l'effet, en contiennent nécessairement la cause (méthode de différence); 3° enfin, chercher les influences qui, augmentant ou diminuant en même temps que l'effet, en représentent la cause véritable (méthode de variation concomitante). (V. Bacon, *Instauratio magna*, lib. V, cap. II; *Novum organum*, lib. II; et St. Mill, *Système de Logique*, liv. III, ch. VIII.). On avance ainsi dans la connaissance des causes en faisant intervenir l'une après l'autre les circonstances inconnues parmi les circonstances connues. L'art de tenter la nature et de varier l'application des agents modificateurs pouvait seul suivre la marche des phénomènes dans les voies multiples et entrecroisées où leur versatilité se développe, analyser les concours d'action, surprendre de mobiles occurrences, contraindre les cas inusités à se produire, graduer l'intensité des forces et parcourir l'échelle entière des mutations possibles. Dans le temps même où Bacon assignait des règles à la méthode expérimentale, Galilée en inaugurerait la pratique et opérait les premières expériences scientifiquement conçues. L'esprit humain disposa dès lors d'un

1. Un siècle avant Bacon, Léonard de Vinci avait eu l'intuition de la méthode expérimentale : « cominciare dall'esperienza e per mezzo di questa scopirne la ragione. » Il ajoutait : « questo è il methodo da osservarsi nella ricerca dei fenomeni della natura. » V. Venturi, *Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de L. de Vinci*, 1797, p. 31.

nouveau moyen de recherche dont les résultats, depuis trois siècles, attestent la fécondité. Cicéron, parlant de l'expérience commune, l'avait appelée « la maîtresse des choses » (*experientia rerum magistra*) ; ce titre conviendrait mieux encore à l'expérimentation.

La méthode expérimentale est un composé des méthodes antérieures, transformées par leur union même. Elle emprunte à l'intuition les données de la perception et la garantie de l'évidence. Le point de départ de ses applications pourrait être cherché dans les essais que font par instinct les enfants¹ et les sauvages. Inspirés par le caprice et guidés par le hasard, ils aiment à tout éprouver, imaginent des combinaisons d'effets, en rencontrent parfois de curieuses et les mettent à profit. Ce penchant de la raison à expérimenter les choses procura, dès le premier âge, des trouvailles inespérées à la civilisation. Ce furent d'heureuses expériences qui, bien avant l'institution de la méthode, mirent d'ignorants sauvages en possession du feu, de la lumière, d'armes, d'outils et de tant de pratiques industrielles où il serait philosophique de voir avec Bacon la science première du genre humain. Toutefois, dans de telles conditions, la plupart des expériences devaient avorter, car elles visaient dans les ténèbres un but indistinct. Il y avait loin de gains fortuits, de tentatives sans plan et de recherches sans suite, à un ensemble d'opérations concertées en vue d'un résultat défini. Pour transformer des tâtonnements aveugles en explorations raisonnées et l'empirisme en expérimentation, beaucoup de réflexion était nécessaire. Entre les deux manières de procéder, il y a la différence d'une méthode.

Le concours de la déduction n'était pas moins indis-

1. « Chacun peut remarquer qu'à partir du cinquième ou du sixième mois, pendant deux ans et davantage, les enfants emploient tout leur temps à faire des expériences de physique. » (Taine, *l'Intelligence*, t. I, p. 360). Ils palpent, tournent, retournent, frappent, goûtent, font résonner, en un mot expérimentent tout ce qui est à leur portée.

pensable pour donner à l'expérience un pouvoir de démonstration, assurer ses pas, prolonger ses voies et la conduire logiquement à des vérités qui s'enchaînent, dès qu'elle a un point de départ certain. L'art d'expérimenter se rattache à celui de raisonner et n'irait pas loin sans son aide. En Physique, il faut sans cesse tirer des conséquences, évaluer des grandeurs et spéculer sur leurs rapports. Un continuel emploi de la méthode mathématique était donc ici de rigueur, et la science n'est parvenue à l'état positif que lorsque, acceptant le contrôle de la mesure, elle s'est étudiée à déterminer avec précision des quantités ou des dimensions, à graduer l'intensité des forces et à traduire en nombres les variations des faits. Galilée disait avec instance aux physiciens de son temps : « Pas de raisonnements substitués aux calculs, pas de frivoles discours sur les sciences de la nature ; appliquez, mesurez, pesez, analysez ! » L'idéal de la dynamique moléculaire serait en effet de devenir entièrement mathématique et d'exprimer toutes ses connaissances en chiffres, en figures ou en équations.

Enfin, l'expérimentation procède aussi de l'observation. Bacon l'appelle « la fille légitime de l'observation fécondée par le raisonnement ». Son rôle cesse d'être contemplatif et devient actif. Elle ne se contente plus de guetter les phénomènes au passage et de les regarder s'accomplir à mesure que le cours de la nature les amène ; elle prévoit leur ordre, s'ingénie à le modifier et dirige la marche des faits parmi des circonstances dont elle reste maîtresse. Non seulement elle multiplie ainsi les combinaisons d'effets et suscite des occurrences nouvelles, mais encore elle sait produire justement l'espèce de variation dont elle a besoin pour découvrir la vérité cherchée. « L'observateur, dit Cuvier, écoute la nature ; l'expérimentateur l'interroge et la force à se dévoiler. » Posant les questions comme il lui plaît et contraignant les choses à répondre clairement, il arrive à surprendre les secrets les mieux

cachés. L'expérience va donc bien au-delà de l'observation. C'est une observation provoquée, sagace, pénétrante et d'autant plus efficace, qui choisit son but et sa voie, s'empare du gouvernement des faits, les oppose ou les concerte à sa convenance et arrive à les tous expliquer les uns par les autres.

La méthode expérimentale n'était pas applicable aux sciences qui précèdent ou du moins ne trouvait en elles qu'un emploi des plus restreints. Ni l'Ontologie, ni la Mathématique n'étaient obligées d'y avoir recours. La Dynamique même n'en pouvait tirer qu'une assistance bornée, car les principales résultantes de la gravité, celles qui déterminent l'ordre des mondes, échappent à toute possibilité d'ingérence. L'énormité des masses cosmiques, mise en regard des moyens d'action dont l'homme dispose, lui interdit jusqu'à la pensée d'expérimenter sur la condition des astres, de troubler leur stabilité, de ralentir ou de précipiter leur cours, et il doit se contenter d'observer ces phénomènes grandioses, dans une impuissance absolue d'y rien changer. Mais l'expérimentation se prête, dans une certaine mesure, à l'étude dynamique des corps que nous pouvons fixer ou mouvoir à la surface du globe et la science de la pesanteur lui doit d'inappréciables contributions. Par là s'est effectuée la transition de l'une à l'autre méthode.

L'expérimentation, au contraire, s'imposait à l'étude des modalités, et répondait à toutes ses exigences. Les phénomènes physiques, répartis en plusieurs séries, sont en effet assez simples pour qu'on puisse exactement circonscrire les influences qui les produisent, et assez variables pour qu'il soit aisé de les modifier dans le sens que l'on désire. En outre, comme, dans chaque série, la puissance des actions croît et décroît régulièrement, il suffit de reconnaître par expérience quelques degrés pour pouvoir construire l'échelle entière. Enfin, ce moyen de recherche

était seul assez puissant pour dévoiler les effets d'agents tels que l'électricité et le magnétisme, dont nul indice ne manifestait directement l'existence.

Plus complexe que les méthodes antérieures, la méthode expérimentale était difficile à organiser et à mettre en œuvre. Il ne suffisait plus de mesurer des distances ou des angles, d'évaluer des poids et de supputer des temps ; il fallait régler les conditions des phénomènes en évitant dans leur interprétation de nombreuses chances d'erreur. L'adage hippocratique déclare déjà l'expérience trompeuse (« *experientia fallax* »). Elle instruit mal et lentement. La plupart des hommes ne profitent guère à son école, quoique souvent ils en aient chèrement payé les leçons. Un physicien éminent cite l'exemple vulgaire du soufflet dont tout le monde se sert et dont presque personne ne sait faire un usage raisonné. L'application méthodique de l'art d'expérimenter exigeait une prudence et une sagacité dont l'homme n'est devenu capable qu'à partir d'une phase relativement avancée de son évolution mentale.

De plus, comme les ressources de la perception sont insuffisantes pour une exploration physique de la nature, l'expérimentateur devait ajouter par artifice à la portée et à la délicatesse de ses sens, combler leurs lacunes et remédier à leur faillibilité. Les physiciens ont construit, en vue de recherches spéciales, un matériel complexe et varié qu'on trouve réuni dans les cabinets ou « laboratoires » de physique : thermomètres, pyromètres, calorimètres, thermopiles, etc., pour l'étude de la chaleur ; miroirs, lentilles, prismes, spectroscopes, etc., pour celle de la lumière ; électroscopes, piles, machines électriques, galvanomètres, etc., pour celle de l'électricité ; boussoles, aimants, machines magnéto-électriques, etc., pour celle du magnétisme. Sans ces ingénieux expédients pour transposer les informations des sens, produire des combinaisons d'effets et révéler la puissance de mystérieux agents, rien n'aurait été possible.

L'Acoustique, la Thermologie, l'Optique, l'Électrologie et la Magnétologie, insignifiantes ou nulles tant qu'on était réduit aux indications des organes, ont pris un rapide essor grâce à l'invention d'instruments propres à signaler ou à mesurer les phénomènes qu'elles étudient.

Une dernière difficulté résultait pour la science de la nécessité d'établir des hypothèses pour arriver à la découverte des lois. La vraie fonction de l'expérience ne consiste pas, en effet, à quêter des vérités au hasard, mais à vérifier des conjectures. Elle a besoin d'être dirigée par une idée préconçue. « L'empirisme, dit Cl. Bernard, peut servir à accumuler les faits, mais il ne saurait servir à édifier la science. L'expérimentateur qui ne sait pas ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve. » (*Rapport sur les progrès de la Physiologie, conclusion*). En Dynamique, où tous les faits sont observables, il suffit de les coordonner par des « systèmes » ou « théories » et l'on va de l'observation des faits à la conception de leur ordre. Au contraire, en Physique où les faits véritables se dérobent et où l'on ne saisit que des résultantes médiatees, il faut aller des lois présumées à leur vérification expérimentale. Cela tient au défaut d'évidence naturelle des causes et à l'obligation d'essayer des interprétations vraies ou fausses sur le mérite desquelles l'expérience prononce. Cette manière de procéder n'est pas d'ailleurs sans analogie avec la méthode des géomètres qui supposent le problème résolu et raisonnent sur les conséquences. Le physicien pressent de même l'ordre invisible des phénomènes, sauf à s'assurer ensuite que les anticipations de l'esprit cadrent avec la réalité. Comme le dit très bien Descartes, l'hypothèse « explique » les faits, mais doit être « prouvée » par eux (*Discours de la méthode*). Une hypothèse est donc une solution provisoire, imaginée sans preuves ou avec des preuves insuffisantes, mais qui se justifie par son accord avec l'ensemble des faits. On arrive ainsi à la certitude en partant

de principes incertains, et une conjecture hasardeuse, reconnue de tous points exacte, devient une loi démontrée.

Quoique réduite à prendre l'hypothèse pour guide, la Physique n'est pas exposée aux mêmes égarements que la Métaphysique. Une différence profonde sépare leurs modes d'investigation et ce qui, pour l'une, est un acheminement à l'erreur, conduit l'autre à la vérité. Les hypothèses métaphysiques subordonnent le réel à l'imaginaire. Conçues à *priori* et sans rapport avec les faits parce que la spéculation se confine dans le monde des idées pures, elles ne sont ni vérifiées, ni vérifiables et, bien qu'elles prétendent s'imposer à la raison, manquent d'autorité pour y réussir. Les hypothèses scientifiques, au rebours, subordonnent l'imaginaire au réel et, ne visant qu'à rendre compte des faits, trouvent en eux la certitude qui, d'abord, leur faisait défaut. Alors que la philosophie est vouée à l'hypothèse à perpétuité, la science se borne à la traverser et s'empresse d'en sortir par une épreuve péremptoire qui érige les conjectures en certitude. Elle ne propose conséquemment que des hypothèses vérifiables et n'admet en définitive que des hypothèses vérifiées. Ce moyen de découvrir est donc efficace et remplit un rôle essentiel. Il comble temporairement les lacunes de la connaissance, préjuge l'explication des choses et montre où la vérité peut être. « Il y a, dit Leibniz, un art de deviner sans lequel on n'avance guère ». On peut soutenir qu'à condition de se soumettre au contrôle décisif des faits, toutes les hypothèses sont utiles. Les fausses mêmes ont leur prix, car leur exclusion motivée circonscrit la recherche des causes, et l'obligation de les vérifier suscite des expériences nouvelles qui manquent rarement de mettre en lumière des faits ignorés. Reconnues vraies, les hypothèses changent de nature et se transforment en lois. Les seules hypothèses qu'il faille impitoyablement écarter ou réduire à l'emploi de fictions représentatives

sont celles que Leibniz qualifie de « fainéantes », qui n'éclaircissent ni n'expliquent les faits et n'admettent de vérification d'aucune sorte : *suspecta est lex quæ probari non vult.* (Tertullien.)

En raison de tant de difficultés, la méthode expérimentale n'a pu parvenir qu'assez tard à se constituer. La Physique est une science moderne et les anciens nous en ont seulement transmis le nom. L'art d'expérimenter qu'ils ignoraient, fut systématisé au commencement du xvii^e siècle. Bacon, qui s'en fit le législateur, l'appelle à juste titre un « nouvel organe » (*novum organum*). Jusqu'alors, en effet, l'unique moyen de connaissance était celui dont Aristote avait donné la théorie, l'instrument logique (connu au moyen âge sous le nom d'*ὄργανον*). A dater de Bacon et de Galilée, l'investigation scientifique disposa vraiment d'un sens nouveau. La Physique l'utilisa la première parce qu'il suffisait à ses recherches et, grâce à ce puissant secours, elle devint une science positive.

Dans le développement historique de la méthode, il y aurait à distinguer quatre phases qui correspondent aux classes de problèmes successivement abordées.

L'étude des éléments de modalité, c'est-à-dire des effets de la cohésion et du son, n'exigeait qu'une expérimentation très simple, presque rudimentaire, où dominant encore l'observation et les artifices mécaniques. Les recherches d'un empirisme instinctif sur ces deux séries de phénomènes remontent aux âges les plus reculés, comme en témoignent, d'une part la confection d'armes et d'outils, découvertes primordiales de la civilisation ; de l'autre, l'invention également immémoriale d'instruments de musique et les lois assignées dès l'époque de Pythagore à la production des sons.

L'étude des modalités variables (chaleur, lumière, électricité, magnétisme), réclamait une méthode plus subtile

et d'ingénieux artifices. C'est dans le champ, activement exploré, de la Physique spéciale, que l'expérimentation a le mieux déployé la fécondité de ses ressources. Quoique les applications du feu et de la lumière se perdent dans la nuit des âges, leur science n'a fait de réels progrès que depuis l'invention assez récente du thermomètre et des instruments d'optique. La connaissance, plus nouvelle encore, des actions de courant, ne remonte guère au-delà d'un siècle et, par suite de l'insuffisance des procédés, se trouve moins avancée.

De nos jours, la Physique comparée, désireuse d'aborder l'étude des corrélations de faits, serait tenue de développer les ressources de la méthode expérimentale afin de pouvoir relier les phénomènes divers et formuler entre eux des rapports de cause ou d'équivalence. Là, tout se tient, les problèmes s'enchaînent et une question résolue conduit à en poser une foule d'autres. On aurait besoin de multiplier les expériences, de les rendre plus complexes et de mettre simultanément en œuvre les artifices combinés de la Physique analytique. La méthode qui doit diriger dans ces synthèses partielles est encore à peine ébauchée.

Enfin, la Physique générale attend pour se constituer un dernier perfectionnement de méthode qui procure le moyen de coordonner l'ensemble des faits et de suivre leurs corrélations les plus étendues. Sa fonction ne consisterait plus à concerter des expériences de détail, mais bien à dégager la conclusion de toutes les expériences. Elle devra faire concorder les séries d'hypothèses vérifiées et les résumer dans une loi générale. Suivant la marche indiquée par la mécanique rationnelle, il faudrait d'abord formuler des « principes » ou conditions d'action sur lesquels se fonderait une « physique rationnelle » et rattacher à quelques faits généraux de longues chaînes de déductions, en attendant que la science devienne capable d'expliquer par une loi simple l'univer-

salité des phénomènes. Il ne sera possible de donner à la Physique ce couronnement nécessaire que lorsque le *novum organum* aura reçu son indispensable complément, l'application de l'analyse aux modes de l'action moléculaire.

LIVRE V

GRASÉOLOGIE OU CHIMIE

SCIENCE DES COMBINAISONS

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION DE LA CHIMIE

La Dynamique scrute l'ordre de collocation des masses dans un système et la Physique celui des molécules dans les masses. Descendons encore un degré : pour achever l'analyse de la constitution des corps, nous aurons à considérer l'ordre des éléments dont les molécules se composent. C'est là un aspect nouveau de l'universelle réalité. Son étude motive l'établissement d'une cinquième science.

Les molécules, en effet, sont, comme les masses, à examiner sous deux points de vue distincts, dans leur unité totale et dans leurs parties. La Physique se borne à résoudre le premier problème, et, prenant les molécules sans les défaire, les tient pour des quantités fixes, expression de la moindre grandeur à laquelle on puisse réduire un corps homogène, sous réserve de ne pas dénaturer sa substance. Chacune de ces parcelles forme ainsi un tout indivis, qui a son existence propre, et si, par suite des

actions qu'elle peut subir, sa manière d'être est sujette à varier dans l'agrégat, son identité persiste à travers une série de modalités. Qu'elle soit fixée par la cohésion dans un solide ou mobile dans un fluide, ébranlée par des vibrations sonores, agitée par la chaleur, impressionnée par la lumière, influencée par l'électricité, enveloppée par des tourbillons magnétiques, il n'en résulte pour elle que des modifications d'état, aussi longtemps du moins que la recherche se renferme dans les limites d'une expérimentation purement physique. La constitution intime de la molécule n'est pas altérée, et, pour retrouver en elle toutes les propriétés du corps dont elle faisait partie, il suffit de la ramener à sa condition première. Elle n'a perdu ni acquis, dans ces mutations successives, aucun attribut essentiel et continue de représenter, sous le moindre volume, l'homogénéité de la masse originelle.

Mais, après avoir étudié dans leurs rapports respectifs les molécules considérées à titre d'unités stables, on est conduit à les regarder comme des composés de parties susceptibles de se disjoindre et de figurer dans des agrégats divers. Les changements profonds que les corps éprouvent dans les cas de combinaison doivent faire tenir les molécules pour des assemblages d'éléments qui, désunis à l'occasion, passent d'un groupe dans un autre et forment des associations variées. Il faut, conséquemment, admettre un nouveau mode de division de la matière, et, de même qu'on a réparti l'ensemble des réalités en masses définies, puis reconnu dans ces masses, soumises à une disgrégation physique, des molécules homogènes, concevoir dans les molécules, soumises à une disgrégation chimique, des éléments hétérogènes dont les combinaisons déterminent la composition et les propriétés particulières des corps.

La Dynamique et la Physique constatent dans les choses des disparités de nature dont elles ne rendent pas compte et que des différences de composition peuvent seules

expliquer. A volume égal, les corps sont les uns légers, les autres lourds. Leurs attributs de dureté, d'élasticité, de ductilité, de sonorité, varient. De même, leur conductibilité, leur chaleur spécifique, leur point de fusion ou de vaporisation. Ils sont brillants ou ternes, opaques ou diaphanes, propres à réfléchir ou à réfracter la lumière, teints de diverses couleurs, positifs ou négatifs, bons ou mauvais conducteurs de l'électricité, bien ou mal doués de propriétés magnétiques, etc. Les diversités de ce genre, signalées à tout moment par les sciences qui précèdent, ne tiennent pas à des actions dynamiques ou physiques, car elles ne varient pas régulièrement sous leur influence et ne sont pas amenées par l'identité de condition à l'identité d'effet. Leur cause, plus intime et plus profonde, doit être cherchée dans la constitution des molécules et correspond à des hétérogénéités de substance.

Si les propriétés des corps étaient invariables, rien n'autoriserait à présumer la complexité de leurs molécules; il suffirait de les concevoir dissemblables par nature; mais on a la preuve que ces propriétés peuvent changer et l'étude de leurs mutations ne permet plus de se figurer les molécules que comme des agrégats composés. Lorsque, en effet, deux corps aptes à se combiner sont mis en présence, ils subissent une transfiguration totale. L'un et l'autre disparaissent comme constituant un ensemble de caractères spéciaux et, à leur place, apparaît un nouveau corps doué de caractères différents. Un phénomène inverse se produit quand un corps se décompose. Ses dérivés n'ont de ressemblance ni avec lui, ni entre eux. Pour comprendre la raison de ces étranges métamorphoses, il faut nécessairement recourir à des transpositions de parties. Les molécules des corps, malgré leur petitesse qui les rend insaisissables, doivent se composer de particules bien plus petites encore, et qui, spécifiquement distinctes, se groupent ou se séparent dans des conditions déterminées.

Ces éléments des molécules constituent la substance des choses (*substantia, de sub stare, quod stat sub modis*), le *substratum* inconnu dont les modalités ne nous livrent que l'apparence et qui se retrouve au terme de toutes les transformations chimiques. Inaltérée par les modifications que subit la matière, fixe sous leurs aspects changeants, la substance conserve une identité permanente et représente pour la pensée l'essence réelle à laquelle se rattachent tous les attributs perceptibles. L'idée de substance se lie à celle d'existence et résulte d'une assimilation entre ce qui, dans les corps, persiste à travers les variations d'état, et la conscience du moi qui se sent identique dans tous les modes de son activité. Sans doute, la nature intrinsèque de la substance nous échappe; nous n'avons aucun moyen de l'atteindre. Aussi, connaître la pure essence des choses n'est-il pas le but auquel vise la science. Elle laisse la Métaphysique s'égarer à la poursuite de cette chimère et se borne à étudier les changements que les substances sont susceptibles d'éprouver. C'est assez, pour aborder de telles recherches, que l'existence même de la substance puisse être affirmée avec certitude. Or, la quiddité mystérieuse qu'on appelle de ce nom et qui, sans jamais s'évanouir, se révèle sous les apparences les plus diverses, possède une réalité positive dont l'évidence ressort de sa constante égalité de poids. Nous définirons donc la substance « ce quelque chose qui constitue la réalité des corps et dont le poids est invariable ». Cette conception complexe associe de la sorte la notion d'existence que l'Ontologie procure, celle de pesanteur que fournit la Dynamique et celle de modalité qui sert à caractériser par des propriétés physiques les différences de composition. Le point de départ de la spéculation devait consister ici à reconnaître au moyen de la balance l'attribut fondamental qui permet de rendre toutes les analyses pondérales. La mise en lumière de cette donnée exigeait, si simple qu'elle paraisse, des observations suivies, des pesées systématiques, des généralisations

d'expérience, et cet immortel service, rendu à la science par Lavoisier, lui a mérité le titre de fondateur de la Chimie.

Si donc la substance, considérée en elle-même et comme fait absolu, est inconnaissable, ses éléments et leurs modes de combinaison, faits relatifs, peuvent être fructueusement étudiés. On se propose alors de connaître « les actions intimes que les corps exercent les uns sur les autres, et qui, en modifiant leur nature, donnent lieu à un changement complet et durable de propriétés » (Wurtz, *Chimie moderne*, p. 5). Examinons maintenant les choses sous cet aspect; procédons à l'égard des molécules comme nous avons procédé à l'égard des masses; distinguons en elles des parties, et, après avoir montré de quelle manière les molécules se comportent dans les phénomènes physiques, cherchons ce que deviennent leurs éléments dans les phénomènes chimiques. Nous serons ainsi conduits à scruter la réalité des choses réduites au minimum de grandeur que la pensée puisse saisir nettement.

Les parcelles infimes dont les molécules se composent paraissent en effet atteindre la limite concevable de la divisibilité, et reçurent, en conséquence, des philosophes grecs le nom « d'atomes » (de α $\tau\epsilon\mu\nu\omega\varsigma$, insécables). Toutefois ce terme, legs de la métaphysique ancienne, va plus loin que l'expérience, affirme un fait incertain et ne doit pas être admis sans de formelles réserves. Le mot d'atome est ce qu'on peut imaginer de plus impropre pour désigner les agrégats complexes qui constituent les masses chimiques élémentaires et l'hypothèse qu'il exprime se trouve contredite par les données de la spectroscopie comme par celles de la mécanique des gaz. Toute quantité de matière capable d'exécuter des mouvements vibratoires doit être composée de parties qui oscillent sans se séparer autour de certaines positions d'équilibre. Or, des mouvements intestins de ce genre se produisent jusque dans les particules ultimes de la matière pondérable et obligent de voir

en elles des assemblages d'éléments. La science devrait donc écarter l'idée d'atomes et la remplacer soit par celle d'une matière continue divisée en surfaces nodales (atomes de vibration), soit par celle de collections d'atomes éthérés unis par un mouvement tourbillonnaire. Les chimistes, sans être tenus de se prononcer sur ce point, ont simplement à considérer l'atome comme la moindre quantité de substance qui conserve son identité dans les combinaisons. Il y aurait peut-être avantage à substituer au mot d'atome celui d'« équivalent » qui, sans rien préjuger de l'indivisibilité des éléments chimiques, énonce seulement le rapport des poids suivant lesquels les substances se combinent.

La langue scientifique est encore si peu précise qu'elle confond sous le nom ambigu d'atomes des concepts relatifs à divers états d'agrégation de la matière qu'il importerait de distinguer avec soin. L'expression d'atome, prise dans son sens absolu, ne conviendrait qu'aux éléments irréductibles de l'éther, seules unités réellement simples, monades véritables qui marquent le terme final des divisions de la matière. On devrait désigner autrement les parcelles initiales de la substance pondérable, unités déjà composées et de formation secondaire. Une dénomination spéciale serait à créer pour les agrégats de substance pondérable qui, variables en poids et doués de propriétés caractéristiques, sont aptes à se combiner entre eux. Ce sont là nos atomes chimiques dont la nature, même dans les corps appelés simples, est plus ou moins complexe. Après l'atome chimique, indécomposable pour nous, il y aurait à qualifier diverses sortes de « molécules chimiques », agrégats d'atomes qui se laissent décomposer, mais qui néanmoins possèdent assez de stabilité relative pour pouvoir parcourir, sans perdre leur intégrité, des cycles de combinaisons. La « molécule physique » exprimerait le produit le plus élevé de ces groupements éventuels. On devrait ensuite distinguer les assemblages de

molécules physiques auxquels les cristallographes donnent le nom de « molécules intégrantes » et qui, réalisant un type déterminé, entrent comme éléments dans la structure des cristaux. Enfin, « les cellules » qui leur correspondent dans les organismes sont des systèmes très complexes de molécules coordonnées et atteignent le degré de grandeur où la visibilité commence. On pourrait, dans une vue d'ordre, désigner par un exposant de puissance ces diverses sortes d'éléments : A représentant les atomes de l'éther, on aurait A² pour les agrégats d'atomes éthérés qui, égaux en poids, composent les atomes de la substance pondérable; A³ pour les agrégats d'atomes pondérables qui constituent, par poids inégaux, les atomes chimiques; A⁴ pour les associations d'atomes qui forment les molécules chimiques; A⁵ pour les assemblages de molécules chimiques d'où proviennent les molécules physiques; A⁶ pour les éléments plastiques produits par un groupement de molécules physiques¹... Tant qu'on n'aura pas défini et dénommé ces états de division de la matière, il sera difficile de s'entendre sur les principes des choses, et la notion de l'atome, fondement de l'étude des substances, restera confuse.

Conséquemment, sans accepter l'atome chimique comme insécable et sans nier témérairement par avance sa divisibilité, tenons-le pour une quantité fixe, indécomposable par tous les moyens connus d'analyse et capable de traverser la série des combinaisons, comme la molécule traverse la série des modalités. L'atome, minimum de substance auquel il soit possible de rattacher des propriétés

1. Peut-être y aurait-il lieu de prolonger la série et de considérer comme unités d'ordre supérieur: A⁷, les individualités, collections d'éléments de structure; A⁸, les espèces, collections d'individualités; A⁹, les règnes, collections d'espèces; A¹⁰, les mondes, collections de règnes, sortes d'atomes cosmiques; A¹¹, les systèmes sidéraux, collections de mondes; A¹², les nébuleuses, collections de systèmes; et finalement Aⁿ, l'univers. On irait ainsi par une gradation continue de l'atome d'éther à la totalité des choses.

spéciales, représente une parcelle de molécule dont le poids est constant et la composition stable. La molécule et l'atome sont difficiles à distinguer dans les corps simples ; mais, dans les corps composés, on ne saurait les confondre : la molécule exprime ce que les corps ont d'homogène, l'état de division où leurs moindres parties se ressemblent entre elles et ressemblent au tout, sauf pour la grandeur. L'atome, au contraire, désigne ce que les corps ont d'hétérogène, l'état de division où les parties diffèrent entre elles et diffèrent du tout.

La théorie des atomes, imaginée par Leucippe d'Abdère, fut exposée avec éclat par Démocrite, systématisée par Épicure (dont un traité sur ce sujet a été exhumé des ruines d'Herculanum), enfin vulgarisée par Lucrèce (*De rerum natura*, lib. I et II). Mais les philosophes anciens ne virent en elle qu'un thème à rêveries métaphysiques. Par une rencontre singulière, la doctrine atomistique se retrouve, avec les mêmes traits, dans un des systèmes philosophiques de l'Inde (le *Vaiceshika* de Kanada), sans qu'on puisse dire s'il y a eu emprunt ou coïncidence. L'hypothèse des atomes, oubliée pendant le moyen âge, fut débattue, au xvii^e siècle, entre Gassendi, qui voulait la remettre en honneur, et Descartes, qui la rejetait. Dalton, reprenant au début du xix^e siècle cette conception abstraite, en a fait la base de l'explication des phénomènes chimiques (*Nouveau système de philosophie chimique*, 1807). Il suppose la matière formée de particules extrêmement petites, qui s'agrègent pour produire des composés et reviennent en se séparant à leur condition première. Mais il n'était pas nécessaire de tenir, comme a fait Dalton, ces particules pour insécables et simples ; il suffisait de les présumer constantes et d'admettre que leur stabilité, pour être détruite, exigerait des forces supérieures à celles dont nos expériences disposent.

La théorie des atomes, œuvre de Dalton, marque avec la

loi des poids, due à Lavoisier, l'époque où, grâce à ces deux conceptions fondamentales, la Chimie fut constituée à l'état positif. Nos connaissances en matière de composition se réduisent à déterminer des collocations d'atomes, comme en Physique des collocations de molécules et en Dynamique des collocations de masses. Or, de même que celles-ci tantôt gardent les unes par rapport aux autres des situations fixes et tantôt changent de lieu, de manière à produire des états d'équilibre ou des effets de mouvement, les atomes peuvent, soit conserver dans la molécule leurs positions respectives, ce qui est un fait de composition (de *cum ponere*, mettre ensemble), soit se disjoindre et rester isolés ou concourir à former de nouveaux groupes. Chaque molécule représente donc un agrégat plus ou moins stable d'atomes qui, selon la nature des substances, diffèrent en poids, en volume, en puissance d'action, peut-être même en forme et en vitesse de mouvement. Ces causes de dissemblance font concevoir comment, dans certains cas, les éléments se prêtent et, dans d'autres, se refusent à s'unir.

La force sous l'influence de laquelle les atomes s'associent dans la molécule porte le nom d'« affinité ». L'idée d'une cause générale d'action dont tous les phénomènes de combinaison seraient l'effet ne remonte pas très haut dans la science. Les anciens ne s'étaient pas élevés jusqu'à ce degré d'abstraction, et leurs langues n'avaient pas de mot pour exprimer le principe des actions chimiques. Le terme d'affinité, dans le sens de « parenté par alliance » (*affinitas*), aurait, d'après M. Dumas (*Philosophie chimique*, p. 392), été appliqué pour la première fois aux faits de composition par Barchusen, dans un ouvrage publié en 1698 sous le nom de *Pyrosophia*; mais Hoefler constate déjà son emploi dans un traité d'Albert le Grand (xiii^e siècle) intitulé *De rebus metallicis* (Rouen, 1496, V. *Histoire de la physique et de la chimie*, p. 367). Néanmoins, le sens du mot affinité restait assez vague lorsque Boërhaave, dans ses *Elementa Chimie* (1733), lui donna une acception plus

précise et toute moderne. Il suppose entre les substances une alliance voulue, un libre choix (on disait au xviii^e siècle « les affinités électives », et Goethe a fait de cette formule le titre d'un roman, ce qui était lui assigner sa vraie place). Boërhaave mêle à l'affinité une part de sentiment. Il croit que les corps, doués d'affections spéciales, de sympathies réciproques, s'unissent *magis ex amore quam ex odio*. Il va même jusqu'à comparer les combinaisons à un mariage et fait poétiquement célébrer des « noces » aux éléments conjoints. De telles images, que le terme d'affinité semblait évoquer, sont plutôt une interprétation symbolique des faits qu'une indication réelle de leur cause, et le nom d'« action chimique » ou de « force atomique », moins aventureux, aurait été plus exact.

Malgré l'extrême petitesse des éléments qu'elle met en jeu, l'affinité agit dans certaines combinaisons avec une prodigieuse puissance. Lorsque, par exemple, 1 kilogramme d'hydrogène se combine avec 8 kilogrammes d'oxygène pour produire 9 kilogrammes d'eau, la collision des atomes d'où résulte le nouveau corps s'effectue avec une telle énergie qu'elle dégage 34,000 calories, c'est-à-dire équivaut mécaniquement à 14,416,000 kilogrammètres. La puissance qui se déploie dans les phénomènes chimiques est donc bien supérieure à celle que manifestent les changements d'état physique. On l'explique par la vitesse des ébranlements que subissent les atomes et dont on trouve un indice dans celle des ondes lumineuses propres à déterminer la « fluorescence ». Ces vibrations, presque deux fois plus rapides que celles de la lumière moyenne, s'élèvent à 946 millions de millions par seconde.

En raison de leur nature spéciale, les faits de combinaison se distinguent aisément, soit des faits de collocation, qui déterminent l'ordre des corps dans l'espace sans rien changer à leur nature, soit des faits de modalité, qui di-

versifient la manière d'être des choses sans altérer leur composition. Les phénomènes chimiques se caractérisent par les mutations profondes et persistantes que chacun d'eux fait éprouver aux propriétés des substances. La division admise entre ces trois sortes d'actions se lie à la triple conception de l'idée de masse, de l'idée de molécule et de l'idée d'atome. Ce ne sont pas là de simples vues de l'esprit, les degrés d'une analyse imaginaire servant à rendre théoriquement compte de la constitution des corps; à ces états de disgrégation de la matière correspondent des modes d'application de la force dont chacun a ses effets, sa mesure et ses lois. Il faut donc étudier séparément, à l'aide de méthodes particulières, la gravité qui régit les masses, l'action physique dont les molécules subissent l'influence et l'affinité à laquelle obéissent les atomes. Les conditions de ces classes de phénomènes diffèrent profondément. En Dynamique, où la pesanteur agit d'une manière uniforme, sur des masses quelconques, les faits se développent en série continue et se déterminent à l'aide de simples données de poids, d'angles et de temps. En Physique, où les molécules homogènes réagissent les unes sur les autres de manière à produire des résultantes collectives, les modalités révèlent à la perception des effets imperceptibles d'équilibre et de mouvement; mais leurs séries ne composent pas seulement, chacune à part, une échelle de variations; elles s'entremêlent et se compensent en partie sans jamais disparaître entièrement. En Chimie, l'affinité, s'appliquant à combiner des éléments hétérogènes, suit la loi d'une variabilité sans fin. Le trait distinctif de ses phénomènes est leur dissemblance générale et absolue. Chaque corps, simple ou composé, diffère de tous les autres, de ceux même dont il procède comme de ceux qu'il sert à produire. Là, plus de gradations régulières et insensibles; les disparités sont toujours tranchées. La moindre modification dans la substance d'un corps entraîne pour lui un

changement intégral de propriétés. Alors qu'en Dynamique on n'a qu'une série de faits, et en Physique six sortes de modalités connexes, en Chimie la diversité des faits de combinaison n'a pas de limites et l'on compte autant d'espèces de corps que d'éléments ou de composés. Le caractère essentiel de l'action chimique est donc la discontinuité de ses effets. Chaque substance réalise un état déterminé, unique, de composition. De l'une à l'autre, il y a, non plus transition ménagée ou corrélation de série, mais hiatus profond, transformation complète. On constate bien, il est vrai, dans les sciences antérieures, des solutions apparentes de continuité, comme, en Ontologie, la distinction du moi et du non-moi, celle des idées particulières et des idées générales, etc; ou, en Mathématique, celle des modes de variation des quantités et des modes de figuration de l'étendue. La Dynamique et la Physique ont aussi leurs « phénomènes-limites », comme lorsqu'un corps passe de tel état d'équilibre à tel autre, ou suit la loi de tel ou tel mouvement; ou enfin quand sa condition physique se modifie brusquement... Toutefois, dans les sciences qui précèdent, les interruptions de ce genre constituent plutôt des frontières ou un changement de voie que des intervalles vides et des sauts. Ces lacunes sont, au contraire, la règle en Chimie où la force procède toujours par bonds et où chaque produit, différant en tout de tous les autres, se trouve séparé d'eux par une sorte d'abîme. Si donc, avec quelques auteurs, on définit la Physique: « la science des propriétés générales des corps, » c'est-à-dire d'un nombre restreint de manières d'être qui se retrouvent à divers degrés en toutes choses parce qu'elles résultent d'une constitution moléculaire commune, il faudrait définir la Chimie: « la science des propriétés spéciales des corps », qui ont une différence de composition pour cause et se renouvellent entièrement avec elle à chaque mutation que la substance subit. Après le monde uniforme de l'homogénéité que

scrute la physique, c'est le monde changeant de l'hétérogénéité que la science des combinaisons a pour tâche d'explorer.

Les phénomènes chimiques, non moins étendus que les phénomènes physiques et les phénomènes dynamiques, s'accomplissent également dans la totalité des choses. A. Comte est obligé de convenir que la généralité des faits de composition dément sa théorie préconçue d'un ordre de particularité croissante entre les sciences (*Cours de Philos. posit.*, t. III, p. 2, 28 et 29); mais il se résigne au démenti que lui inflige l'évidence et n'a pas le courage de renoncer à sa théorie. Comme il n'y a point de masse qui ne se compose de molécules, ni de molécule qui ne se compose d'atomes, il est clair que tous les corps ont une constitution atomique, un état de composition, des propriétés de substance et relèvent ainsi de la science qui nous occupe. La Dynamique, la Physique et la Chimie, générales au même titre, font connaître l'universelle réalité sous trois aspects qui correspondent à trois degrés d'analyse, à trois manières de concevoir les choses, l'unité de l'ensemble restant la même pour chaque étude, puisqu'elle comprend toujours tout et se borne à l'examiner d'un point de vue spécial.

La science de la composition des corps a été longtemps incapable de dire si les éléments des combinaisons qu'a réalisées le monde terrestre se retrouvent dans les autres mondes et si un fonds identique de substance sert à former tous les astres de l'univers. Cette impuissance, dont A. Comte était excusable de ne pas prévoir le terme prochain, mais qu'il a eu le malheur de déclarer absolue, (*Id.*, t. II, p. 6 et 8)¹, laissait planer une incertitude fâcheuse sur la généralité des phénomènes chimiques et la

1. « C'est manquer de prudence, a dit Arago, que de prononcer dans les sciences le mot *impossible*. »

rangeait parmi les hypothèses non vérifiables. Des progrès récents ont heureusement levé tous les doutes sur ce point. D'une part, en effet, l'analyse des météorites, corps d'origine extra-terrestre, a montré que ces fragments de mondes lointains échoués sur notre planète constituent des matériaux analogues à ceux dont la terre se compose, car elle y a fait reconnaître 22 de nos éléments chimiques, sans amener la découverte d'aucun élément nouveau. Les substances qui dominent parmi ces échantillons de matière cosmique sont aussi les plus communes à la surface du globe (fer, silicium, oxygène...) et leur état de composition reproduit celui de quelques-unes de nos roches (péridot, pyroxène, feldspath, pyrite, fer oxydulé, etc.) (V. Daubrée, *Expériences synthétiques relatives aux météorites*). D'autre part, l'analyse spectrale établit l'identité de substance élémentaire, qui entraîne l'identité virtuelle de l'action chimique, dans les astres du système solaire, dans une multitude d'étoiles et jusque dans les nébuleuses. Les spectres des étoiles dont l'incandescence est le plus atténuée laissent discerner les apparences propres aux corps composés. Il y a donc lieu de croire que l'affinité se joue, dans toutes les masses cosmiques, en manifestations d'une variété infinie dont sans doute nous ne connaissons qu'une faible part; mais, si divers qu'ils puissent être, tous les phénomènes chimiques sont de même ordre et régis par les mêmes lois. Descartes avait eu le pressentiment de cette grande vérité : « la terre et le ciel, dit-il, sont faits de la même matière; il n'y a aucun doute à conserver sur l'unité qui règne dans la constitution matérielle du monde. » (*Principes de la philosophie*, édit. française de 1668.)

La science des combinaisons est, depuis les premiers siècles de notre ère, connue sous le nom de « Chimie ». Ce terme, d'étymologie incertaine, n'indique pas l'objet de la science et rappelle plutôt d'anciennes erreurs.

Le mot de *χημεία* figure pour la première fois dans les *Commentaires sur l'art sacré et la pierre philosophale* « d'Olympiodore », écrivain du IV^e siècle (Hoefler, *Histoire de la physique et de la chimie*, p. 349). La Chimie, science d'abord hiératique et adonnée à la recherche de la transmutation des métaux, fut cultivée chez les Grecs d'Alexandrie, à la suite des Égyptiens, et appelée par eux « art divin » ou « art sacré » (*τέχνη θεία και ιερὰ*), titres sous lesquels en ont traité divers auteurs du IV^e siècle (Id., *id.*). Elle conserva, jusque dans les temps modernes, avec le nom à moitié arabe d'« alchimie », son caractère hermétique originel. L'alchimie, cette grande création du moyen âge, ne mérite peut-être pas le dédain que lui témoigne une science devenue plus exacte. Elle fut le stage de la Chimie, une phase préparatoire et non inféconde, signalée par des illusions presque inévitables au début, des essais hasardeux et des trouvailles inespérées. Les recherches, chimériques dans leur but, procurèrent la connaissance d'acides, de sels, d'esprits, etc., dont l'industrie d'abord, la science ensuite tirèrent un utile parti. Les souffleurs du moyen âge, en cherchant ce qu'ils ne pouvaient trouver, trouvèrent ce qu'ils ne cherchaient pas, un ensemble de données grâce auxquelles la Chimie se constitua. Comme ce berger de la Bible à qui échut un royaume pendant qu'il poursuivait des ânesses égarées, les alchimistes, acharnés au grand œuvre, découvrirent au fond de leurs creusets, en place d'or, une science, chose infiniment plus précieuse. La Chimie n'entra dans sa phase positive que vers le milieu du XVIII^e siècle. Mais, en changeant de but et de méthode, elle n'a pas changé de nom et la vieille désignation, dont le sens est obscur ou erroné, serait remplacée avec avantage dans une terminologie rationnelle, par une expression qui indiquerait la nature des phénomènes à étudier. On pourrait admettre, par exemple, celle de « Craséologie » (de *κρᾶσις*, mélange, combinaison).

Le champ qu'aurait à explorer la Chimie est par lui-même assez vaste et il faut se garder d'en dépasser les limites. A. Comte s'est mépris à cet égard quand il a fait de la minéralogie une dépendance de la Chimie (*Cours de Philos. posit.*, t. I, p. 17). La minéralogie, science particulière, tient surtout compte, il est vrai, de la composition des corps bruts; mais elle ne se contente pas d'étudier en eux, à l'état concret, une partie des phénomènes que la Chimie examine à l'état abstrait; elle décrit aussi la structure des minéraux, et la cristallographie, dont A. Comte n'a pas jugé à propos de s'occuper, faute d'avoir su lui ménager une place dans son système, ne peut, à aucun point de vue, passer pour une annexe de la Chimie. Elle relève d'une autre science, la Morphologie, et l'en distraire, c'est rompre l'unité de toute une classe de faits. Nous verrons plus loin la cause et les conséquences de cette méprise; pour le moment, nous devons nous borner à la signaler, afin de circonscrire la science des combinaisons dans sa spécialité.

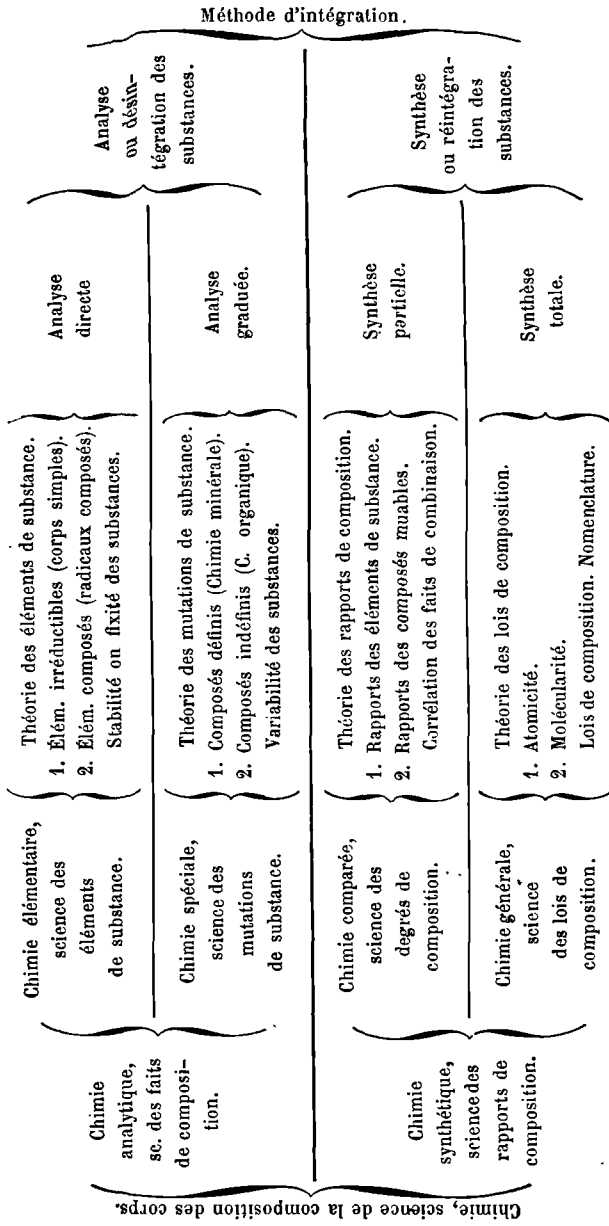
CHAPITRE II

PROGRAMME DE LA CHIMIE

Il est d'autant plus nécessaire de répartir avec ordre les problèmes de composition qu'à première vue leur confusion paraît plus grande. Cependant la Chimie n'a pas encore de programme raisonné. Afin de combler cette lacune, appliquons la règle qui nous a servi à diviser l'objet des sciences antérieures. Nous aurons également à distinguer deux sections principales, l'une analytique, dont le but est de déterminer le détail des faits, l'autre synthétique, chargée de montrer leurs relations et leurs lois. La première cherche de quoi se composent les corps ; la seconde, par quelles séries de combinaisons il est possible de les reproduire. La distinction de ces deux classes de problèmes correspond à une différence de méthode. Indiquons la marche à suivre dans chaque étude, en commençant par l'analyse des faits qui est la plus simple.

CRASÉOLOGIE OU CHIMIE

SCIENCE DE LA COMPOSITION DES CORPS



I

CHIMIE ANALYTIQUE

SCIENCE DES FAITS DE COMPOSITION

Quoique les travaux des chimistes aient, depuis un siècle, porté à peu près exclusivement sur l'analyse des substances, le défaut de conceptions générales ne leur a pas permis d'établir une classification naturelle des faits de combinaison et l'on ne citerait pas deux traités qui les exposent dans le même ordre. La Chimie se trouve, à cet égard, moins avancée que la Physique où la distribution des modalités par séries, d'après les sensations qui les signalent, offrait un cadre tout tracé de recherches.

On admet d'ordinaire une division principale des substances en simples et en composées; mais ce mode de partage, insuffisant et mal motivé, scinde l'ensemble des phénomènes en deux groupes trop inégaux, puisque le premier se réduit à environ soixante-dix éléments dont on se contente de définir les propriétés, faute de pouvoir constater leur composition, tandis que le second, qui embrasse la suite immense de leurs dérivés, comprend presque le tout de la science. De plus, ce motif de distinction suppose entre les groupes institués une disparité de nature plus imaginaire que réelle. Il attribue aux corps qualifiés de « simples » une caractéristique douteuse et confond, sous le nom vague de « composés », des degrés fort divers de composition. Il n'y a pas de corps simples en contraste avec des corps composés, mais seulement des stades de composition qu'il importe de déterminer.

L'usage commun est de subdiviser les composés en deux séries dont l'une relève de la Chimie dite « minérale » et l'autre de la Chimie dite « organique ». Une attribution pareille ne résiste pas à la discussion. L'opposition des corps bruts et des corps vivants se fonde sur des considérations de structure et, si elle s'impose en Morphologie, elle est irrationnelle en Chimie. Nous n'avons pas ici à nous occuper de la forme ; la composition des substances est seule à examiner. Or, cette composition est indépendante de la structure et la domine, loin d'être dominée par elle. Les phénomènes chimiques ne sont pas régis par des lois distinctes dans les deux mondes de l'inorganisation et de la vie. Les mêmes éléments concourent à les former l'un et l'autre. Tous les matériaux des corps vivants sont empruntés à la nature minérale et l'eau seule entre en moyenne pour 9/10^{es} dans la constitution des organismes. La frontière est donc mal établie. Entre les deux classes de corps présumées chimiquement différentes, il y a, non séparation réelle, mais passage incessamment traversé. Les combinaisons se développent avec suite dans l'une et l'autre série en parcourant une évolution tour à tour ascendante et régressive.

La division de la Chimie ainsi motivée par des considérations morphologiques est inexacte et confuse. A. Comte en fait longuement la critique (*Cours*, t. III, p. 51 et p. 157 à 175). Il indique même le moyen d'établir un ordre meilleur. Pourtant, il ne laisse pas ensuite de se conformer à la routine, ce qui est donner le mauvais exemple après avoir enseigné le bon (*id.*, leçons 36 et 39). Comme la plupart des chimistes obéissent encore à la tyrannie de la coutume, il importe de fixer nettement les conditions d'un partage moins défectueux.

Le classement naturel des substances devrait se référer à des caractères purement chimiques et tenir avant tout compte du degré de composition. A ce point de vue, il y aurait d'abord lieu de distinguer les composés ato-

miques simples agrégats d'atomes (soit de même espèce si le corps est simple, soit d'espèce différente, mais directement unis, s'il est composé), et les composés moléculaires, agrégats de molécules chimiques. La différence de ces deux états de constitution est le fait dominant de la science, car les atomes et les molécules ont des mouvements propres en tant qu'on les considère comme des unités d'ordre inégal. Les composés atomiques, généralement fixes et susceptibles de traverser toutes les combinaisons s'ils sont irréductibles, ou un grand nombre de combinaisons s'ils sont réductibles, représenteront pour nous les éléments de substance. Ils se modifient par adjonction, disjonction ou substitution d'atomes. Les composés moléculaires, beaucoup plus variables, admettent en outre des doublements, des dédoublements de molécules et des changements isomériques. Toujours prêts à parcourir, sous de faibles influences, des cycles de mutation, ils ont une condition complexe et précaire. Dans les corps de la première classe, l'affinité, puissante et en partie satisfaite, réalise entre les atomes un équilibre qui assure la stabilité de l'agrégat; dans ceux de la seconde, elle semble passer à l'état de mouvement et tendre sans cesse à produire de nouvelles combinaisons. Nous retrouvons donc ici parmi les substances une différence analogue à celle des deux ordres de collocation des masses dans la Dynamique et des deux sortes de modalités dans la Physique. Toutefois, les termes d'équilibre et de mouvement, transportés dans le langage de la Chimie, doivent y prendre un sens spécial et désigner seulement l'aptitude des corps à maintenir ou à modifier leur état de composition.

Examinons d'abord ce que la nature chimique des substances a d'élémentaire ou de permanent; nous étudierons ensuite ce qu'elle offre de complexe et de muable.

I. — CHIMIE ÉLÉMENTAIRE OU STÆCHIOLOGIE

SCIENCE DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE

THÉORIE DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE

La Chimie élémentaire, à laquelle conviendrait le nom de « Stœchiologie »¹ (στοιχεῖον, élément), a pour objet la détermination des éléments de substance. Ce terme d'« élément », pris dans son acception usuelle, désigne les corps simples par opposition aux corps composés ; il y aurait, croyons-nous, avantage à lui donner un sens moins exclusif. Nous appellerons « éléments de substance » non seulement les corps qualifiés de « simples » et qui devraient plutôt être dits stables, mais aussi des composés très peu complexes qui jouissent encore d'une stabilité notable de composition. Leur trait commun est de constituer des agrégats d'atomes directement associés et la différence qui les sépare consiste en cela que ces atomes sont homogènes dans un cas, hétérogènes dans l'autre.

L'expression de « corps simple » a l'inconvénient d'affirmer dans une catégorie de substances élémentaires une qualité conjecturale et douteuse. Les corps présumés simples sont ceux qui, jusqu'à présent, n'ont pas pu être décomposés ; mais il suffirait de les appeler « irréductibles » ou, pour parler plus exactement, « irréduits. » Nous devons éviter de transformer ce caractère négatif en caractère positif et, au lieu d'affirmer sans preuve une simplicité

1. Ce mot figure dans le Dictionnaire de Littré. Celui de « Stœchiométrie » avait été donné pour titre au traité de chimie de Richter (1792).

réelle, nous contenter d'un aveu d'ignorance ou d'impuissance. Le mot de corps simple, ainsi entendu, n'exprimera plus que le moindre degré connu de complexité pour les substances, la limite où, pour le moment, nos analyses s'arrêtent. Il serait téméraire d'aller plus loin que le fait actuel, d'engager l'avenir et de déclarer indécomposables des éléments qui ne sont qu'indécomposés.

Lorsqu'on examine dans le passé la question de la simplicité des substances, on voit qu'elle a reçu, selon les temps, des réponses différentes. La borne a été souvent déplacée et sans cesse reculée. Les premières spéculations de la philosophie grecque tentèrent de ramener à un principe unique l'universelle essence des choses. Pour Thalès, cet élément générateur était l'eau, pour Axanémène l'air, pour Xénophane la terre, pour Héraclite le feu. Empédocle admit à la fois ces quatre éléments et leur réunion, consacrée par l'autorité d'Aristote (*Métaphysique*, liv. I, ch. I), fut acceptée comme un dogme pendant plus de vingt siècles. A ces quatre éléments terrestres (deux inférieurs, la terre et l'eau, deux supérieurs, l'air et le feu), Aristote avait ajouté une cinquième essence (« quintessence ») de nature céleste, l'éther. Par une rencontre singulière s'il n'y pas eu transmission, la théorie des mêmes éléments (eau, terre, air, feu et éther¹) se retrouve dans un des plus anciens systèmes de philosophie de l'Inde, le système *Sankya*, qu'on croit antérieur au Bouddhisme. La distinction des quatre éléments traditionnels reposait sur des considérations physiques plutôt que chimiques, car, suivant la remarque de M. Chevreul, ils représentaient la matière sous ses trois états, solide (la terre), liquide (l'eau), et gazeux (l'air), auxquels on adjoignait la chaleur qui fait passer les corps de l'un à

1. L'éther des Hindous (« àkàsa », le brillant, le lumineux, analogue exact de l'αἰθήρ l'« igné, » des philosophes grecs), faisait partie du « règne des cinq » comprenant tous les éléments des choses.

l'autre. Anaxagore, se rapprochant davantage des idées modernes, prétendait que le nombre des éléments est indéfini et que leurs combinaisons produisent toutes choses par des phénomènes d'agrégation et de disgrégation (Aristote, *id.*). C'est là, dit M. Berthelot, une conception tout à fait comparable à notre doctrine des corps simples.

Les recherches de la science ont montré que les éléments des anciens pouvaient se réduire en éléments plus simples qui eux-mêmes ont été décomposés plus tard, sans qu'on soit encore assuré d'avoir atteint le terme des analyses possibles. Plusieurs corps réputés simples du temps de Lavoisier (la potasse, la soude...) ont ensuite été ramenés à un état de composition plus élémentaire. Bien des raisons conduisent de même à mettre en doute la simplicité de nos éléments actuels. D'une part, en effet, des composés authentiques se comportent à la manière des corps simples dans les séries de combinaisons; de l'autre, des corps présumés simples offrent plusieurs des caractères propres aux corps composés. Comme tous les éléments connus ne rentrent pas dans la loi de Dulong et de Petit, relative à la constance du rapport entre la chaleur spécifique et le poids atomique des substances, on est fondé à conjecturer la complexité de ceux qui font exception. Tels seraient, d'après les expériences de Graham, le soufre, le brome, l'iode et le chlore. La composition de l'azote paraît infiniment vraisemblable. Ce corps, réfractaire à la plupart des combinaisons, semble le produit d'affinités en grande partie satisfaites et presque parvenues au point de saturation. Son équivalent d'hydrogène, qui est de 14, porte à supposer qu'il résulte du doublement d'une substance composée de deux éléments ignorés, unis dans le rapport de 3 à 4. On pense même avoir réussi à effectuer la décomposition temporaire de l'azote, car, lorsqu'on le soumet à l'action de faibles décharges électriques, on voit se produire un spectre à raies nombreuses dont les principales offrent les cannelures qui, en général, caractérisent

les oxydes, tandis qu'avec de fortes décharges, on obtient un spectre différent qui consiste en lignes brillantes sur un fond obscur. Il est vraisemblable que les éléments de l'azote subissent alors, sous l'influence de l'arc électrique, une dissociation momentanée suivie de recombinaison immédiate. Enfin, M. Huggins a signalé dans le spectre d'une nébuleuse de la constellation du Dragon (37 H IV), composée de gaz diffus, la raie principale de l'azote séparée de toutes les autres, indice probable d'un état élémentaire inconnu.

D'autres corps simples donnent également un double spectre selon la faiblesse ou l'énergie des décharges qui les traversent, et la cause de ces variations doit dépendre des dimensions plus ou moins réduites de leurs éléments en rapport avec les ondes lumineuses dont l'influence les fait vibrer. Dans des conditions pareilles, le soufre, le carbone, le calcium, le sodium, etc., subissent, comme l'azote, des analyses instantanées. Ces dissociations, pour nous passagères, paraissent être permanentes dans les astres à température excessive. La comparaison des spectres stellaires, qui varient avec les couleurs des étoiles, autorise à cet égard des inductions hardies. D'après M. Normann Lockyer, les éléments de nos corps simples, qui tous seraient composés, se laissent reconnaître ou soupçonner à divers degrés de composition dans les astres selon leur état d'incandescence et se trouveraient même, suivant la loi des températures, dissociés dans l'ordre de leurs poids atomiques. Les étoiles les plus chaudes (les blanches) ne contiennent que des éléments métalliques (hydrogène, sodium, magnésium...¹). Les métalloïdes apparaissent avec un moindre degré de chaleur, dans les étoiles bleues,

1. Tel est le cas de notre Soleil où l'analyse spectrale constate l'existence d'une foule de métaux, fer, zinc, cuivre, aluminium, sodium, magnésium, cobalt, nickel, calcium, etc. (sauf l'or dont justement les astrologues le prétendaient composé), et une masse d'hydrogène, sans traces certaines de nos métalloïdes les plus communs, oxygène, carbone et azote. On aurait

vertes ou jaunes. Enfin, dans les plus froides (les rouges), tous les métaux sont combinés ; les spectres ne signalent plus que des métalloïdes et des composés. En place d'hydrogène, on trouve des gaz à basse température et même de la vapeur d'eau... On aurait ainsi dans les astres une échelle de dissociations graduelles et l'analyse spectrale continuerait, avec une puissance dont la nature seule dispose, les indications bornées de nos analyses terrestres (Lockyer, communication à l'Académie des sciences. V. *Comptes-rendus*, octobre 1878). Notons enfin que les spectres des corps simples et ceux des corps composés sont également définis. Les premiers n'affectent aucune apparence particulière, et la continuité des deux séries doit faire exclure toute idée de différence essentielle pour ne laisser subsister entre elles que des différences de degré.

En conséquence, la théorie chimique incline à considérer les corps simples comme des composés réfractaires, produits de combinaisons d'autant plus stables qu'elles sont moins complexes et qu'elles s'effectuent à de plus hautes températures, entre des éléments qui eux-mêmes représentent divers modes d'agrégation d'une substance uniquement ramenée à une simplicité absolue au sein de l'éther. La matière impondérable, si longtemps reléguée sous le nom de « quintessence » parmi les abstractions métaphysiques, constituerait le seul élément véritable. « Pour nous, dit le P. Secchi, les corps regardés comme simples sont réellement des agrégats très compliqués d'autres éléments complexes, mais finalement réductibles à une seule matière » (*L'unité des forces physiques*, p. 527). Il est ailleurs plus formel : « L'étude de la lumière et de la chaleur nous a conduit à regarder comme infiniment probable que l'éther n'est autre que la matière elle-même parvenue au plus haut point de ténuité, à cet état de rareté extrême

ainsi dans le Soleil l'exemple d'un astre n'ayant pas encore dépassé la phase métallique.

qu'on appelle état atomique. Par suite, tous les corps ne seraient en réalité que des agrégats des atomes mêmes de ce fluide. » (*Id.* p. 518, 9.) On irait ainsi, par ce que Newton appelait une « atténuation progressive de la matière » (*Questions d'optique*, 22), des composés les plus complexes à l'éther, seul irréductible et simple. D'après les idées de Graham, l'unité de substance dans l'univers serait en harmonie avec l'unité de loi de la pesanteur. Une matière primordiale, dérivée de l'éther, mais caractérisée par l'attribut de gravité, se résoudrait en particules ultimes (« ultimates ») qui, égales en poids et en volume, s'agrègeraient par poids et par volumes inégaux pour produire, par une sorte de polymérisation graduelle, nos diverses sortes d'éléments hétérogènes. Ces agrégats pourraient n'avoir de stabilité que dans certaines conditions de grandeur, de puissance et de coordination, d'où résulteraient leur dissemblance et leur fixité.

Il faut donc regarder les corps simples comme le terme, seul connu, d'une suite de différenciations subies par la substance primordiale. On ne peut former que des conjectures sur ces pré-éléments inaccessibles à nos analyses. On suppose que l'hydrogène, le plus léger des corps, se rapproche le plus de la substance pondérable primitive. La loi de Proust, d'après laquelle les poids des atomes de la plupart des corps simples constituent des multiples du poids de l'hydrogène, ferait présumer qu'ils sont le produit d'une condensation progressive de cet élément¹. Quelques exceptions infirmaient il est vrai la loi; mais M. Dumas les a fait rentrer dans sa généralité en réduisant le poids de la substance initiale à la moitié ou même au quart de celui de l'hydrogène. Les poids atomiques de tous les corps simples seraient alors des multiples ou des sous-multiples du poids de l'hydrogène. Ce corps lui-même représente-

1. M. Lockyer pense même avoir reconnu les raies de l'hydrogène dans les spectres du phosphore, du magnésium, etc. (*Compt. rend. de l'Acad. des sc.*, septembre 1879).

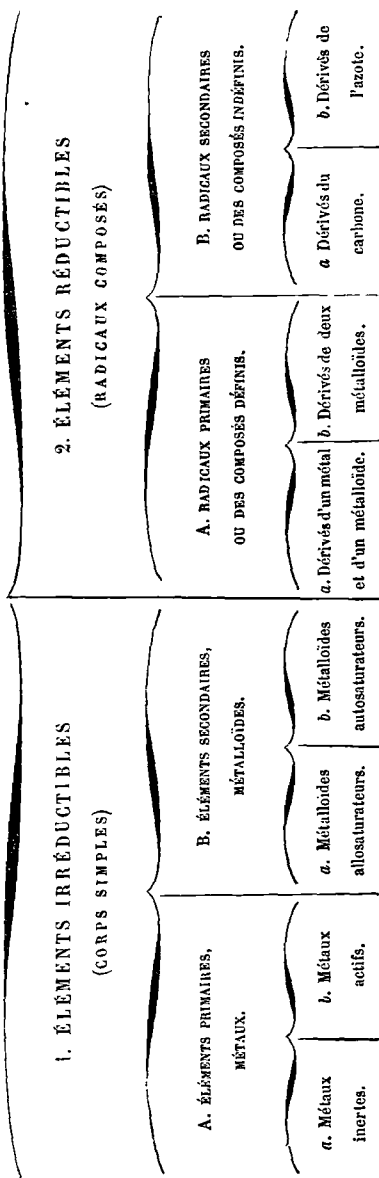
rait le produit par deux ou par quatre d'une substance hypothétique, intermédiaire entre l'éther et lui, substance qui, en raison de sa grande légèreté, serait tenue le plus loin du centre d'attraction des mondes. La présence, dans le spectre des aurores polaires, d'une ligne proéminente qui n'appartient à aucun élément connu, semble indiquer, au delà de notre atmosphère, l'existence d'un élément ignoré, dans un état de raréfaction extrême, et peut-être doit-on interpréter de même la remarquable ligne verte que, dans les éclipses totales de Soleil, on aperçoit autour de la couronne (Andrews, *Discours à l'associat. britann.* 1876). Enfin, M. Huggins a constaté dans plusieurs nébuleuses un spectre réduit à trois ou quatre raies brillantes, signe d'un état de composition extrêmement simple et qui correspond sans doute à quelque rudiment de combinaison.

La vraie nature des éléments de substance reste donc indéterminée et la science doit écarter la qualification de corps simples donnée indûment à ceux que nous connaissons, puisqu'elle préjuge une question douteuse. Conséquemment, notre étude ne portera plus que sur des substances composées. Il y aurait lieu de distinguer parmi elles deux degrés de composition, suivant qu'elles sont stables ou muables. Les premières, qui constituent nos éléments de substance, ont pour caractère d'être, soit impossibles, soit difficiles à décomposer. Dues à des associations directes d'atomes unis par les affinités les plus puissantes, elles représentent l'état de composition le plus simple et le moins changeant.

La Chimie élémentaire, qui borne son étude à la détermination de ces corps, est une science restreinte par son étendue, mais très importante, puisqu'elle assigne un point de départ aux recherches et fait connaître les substances initiales dont se composent toutes les substances complexes. Il convient d'examiner, d'abord les éléments irréductibles dont les atomes traversent inaltérés la série entière des combinaisons, ensuite les éléments réduc-

CHIMIE ÉLÉMENTAIRE OU STECHIOLOGIE

SCIENCE DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE



tibles aptes à jouer, en raison de leur fixité, le rôle de corps simples dans les dérivés ultérieurs.

1. — ÉLÉMENTS IRRÉDUCTIBLES. CORPS SIMPLES

La science devait commencer par établir la notion des éléments irréductibles, car, sans cette donnée, l'étude des composés aurait été pleine de confusion. Les corps simples sont l'alphabet de la Chimie et, comme on ne pourrait épeler les mots si l'on n'en savait les lettres, on ne comprendrait rien aux combinaisons complexes si l'on ignorait leurs matériaux premiers. Il fallait donc, avant toute chose, déterminer avec soin les substances qui, ne se laissant décomposer par aucun moyen connu d'analyse, marquent le plus bas degré ou l'absence apparente de composition. Ces corps, appelés simples d'une manière absolue, parce qu'ils ne paraissent pas susceptibles de se simplifier davantage, seraient plus justement qualifiés d'irréductibles. La force de combinaison dont ils sont dépositaires et qui, pour s'exercer, exige la présence d'éléments hétérogènes, reste latente, virtuelle et comme en puissance, tant qu'ils demeurent isolés. Cela ne signifie point sans doute qu'en eux l'affinité soit nulle; elle est plutôt saturée et en grande partie satisfaite. Les actions dont ils sont le produit s'accomplissent avec tant d'énergie, à de si hautes températures, que nos moyens bornés d'analyse n'ont pas le pouvoir d'en neutraliser l'effet. La condition de ces corps représente donc un état d'équilibre stable, en fait de composition, et ce principe de permanence leur permet de traverser sans altération les combinaisons éventuelles où de moindres influences les disposent à figurer.

La théorie des éléments irréductibles, difficile à instituer, impliquait d'innombrables essais d'analyse conduisant à discerner par expérience, dans la multitude infinie des corps, ceux qu'il est possible de décomposer et ceux

qui résistent à toutes les tentatives de disgrégation. Très peu d'éléments se rencontrent à l'état de pureté dans la nature. La plupart, engagés dans des combinaisons tenaces, ne pouvaient être dégagés que par artifice. Ceux dont la connaissance importait le plus ont été tardivement isolés. L'idée même de la fixité ou de la spécificité des substances élémentaires fut lente à se faire jour. Lavoisier la formula le premier nettement. Jusque-là, le principe de leur stabilité, sur lequel toute la science repose, n'avait pas le caractère d'une loi. Depuis l'antiquité, les adeptes de l'Alchimie, loin de soupçonner l'hétérogénéité fondamentale des éléments, s'obstinaient à poursuivre de chimériques transmutations. Il était malaisé sans doute d'éviter au début une erreur pareille, car on s'y trouvait logiquement amené par l'expérience de la mutabilité générale des composés à laquelle les éléments seuls font exception. Mais cette exception avait ici une importance capitale et l'institution de la science positive date de l'époque où, après des tentatives sans nombre, toujours suivies d'insuccès, l'illusion séculaire fut enfin dissipée.

La découverte de la grande majorité des corps simples appartient à l'âge moderne. Avant le xv^e siècle, on n'en connaissait que neuf (l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le plomb, le fer, le mercure, le carbone et le soufre). De la fin du xv^e siècle au milieu du xviii^e, on parvint à isoler neuf autres éléments (antimoine, 1490; bismuth, 1530; zinc, 1541; phosphore, 1669; borax, 1702; arsenic, 1733; cobalt, 1733; platine, 1741; nickel, 1751) et l'on entrevit les principes de la soude, de la potasse, de la chaux, de la silice, de l'alumine et de la magnésie. Avant 1766, date de la découverte décisive de l'hydrogène, on était donc réduit à 24 éléments. En moins d'un siècle, les recherches des chimistes ont porté ce nombre à 72 par l'adjonction de 48 nouveaux corps simples dont la plupart ne constituent guère, il est vrai, que des curiosités chimiques, mais

dont quelques-uns présentent un intérêt extrême à cause de leurs affinités puissantes et du rôle qu'ils jouent dans la nature. Parmi les plus importants, il convient de citer : l'hydrogène, 1766; le fluor, 1771; l'azote, 1772; le chlore, 1774; l'oxygène, 1774; le manganèse, 1774; le chrome, 1797; l'iode, 1811; le brome, 1826... Mentionnons enfin les métaux qu'a révélés l'analyse spectrale, le césium, 1859; le rubidium, 1859; le thallium 1861; l'indium, 1863; le gallium, 1875; le lacésium et le davyum, 1877; le philippium et le decipium, 1878; le scandium, le norvégium, le samarium, le thulium et l'holmium, 1879...

Rien n'annonce que la liste des éléments irréductibles soit près d'être close; il y a même des raisons de croire que, dans l'avenir, leur nombre pourra se trouver notablement accru. Les poids atomiques de ceux qui sont connus forment une série dont les lacunes feraient supposer l'existence d'environ 25 éléments encore ignorés. Le chimiste russe Mendéléef, guidé par des considérations sur les « fonctions périodiques » des corps simples (V. Wurtz, *Théorie atomique*, p. 112), a pu signaler par avance une trentaine de corps éventuels et spécifier même leurs principales propriétés, eu égard aux groupes où ils seraient appelés à prendre place. Ces prévisions ont été brillamment confirmées par la découverte de quelques-uns des derniers métaux. Enfin, il serait possible que la série des éléments avant et après les termes qui en marquent actuellement les limites se prolongeât dans les deux sens... La spectroscopie signale dans divers astres des corps inconnus sur la Terre (l'« hélium » par exemple, qui appartient au Soleil). Le spectre solaire, où s'étalent des raies obscures dont M. Janssen évalue le nombre à environ 3000, permet de beaucoup attendre des progrès de l'analyse quand on aura méthodiquement débrouillé sa confusion.

Tels sont les matériaux que l'affinité met en œuvre pour composer tous les corps. Ces éléments seraient à répartir, non comme on l'a fait d'abord, par la considération de

leurs propriétés physiques, mais par celles de leurs aptitudes chimiques. On les divise généralement en deux groupes, les métaux et les métalloïdes. Les premiers, chez lesquels se trahissent peu d'indices de composition, possèdent une stabilité remarquable et une inertie caractéristique. Les seconds, que divers traits rapprochent des corps composés, ont une fixité moins grande et des aptitudes mieux accusées. Quoiqu'il soit assez difficile de tracer entre les deux classes une ligne précise de démarcation, elles se distinguent par un ensemble moyen de propriétés. Les métaux sont solides à la température ordinaire (sauf le gallium, qui fond à $+ 29^{\circ}$, le mercure à $- 40^{\circ}$ et l'hydrogène vers $- 300^{\circ}$), denses, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité, opaques, électro-positifs et doués d'affinités généralement bornées. Ils ne se combinent pas entre eux, s'unissent à divers métalloïdes et forment avec l'oxygène des bases, non des acides. Les métalloïdes ont des propriétés inverses. Plus fréquemment gazeux, ils sont mauvais conducteurs, diaphanes, électro-négatifs et doués d'affinités énergiques. Ils se combinent entre eux et produisent le plus souvent des acides en s'unissant à l'oxygène. Cependant, les propriétés des deux groupes s'entremêlent dans plusieurs corps dont la vraie place reste incertaine. L'antimoine et le bismuth, par exemple, que des analogies de composition font ranger parmi les métalloïdes, figureraient aussi bien parmi les métaux. Ces corps, de nature mixte, serviront peut-être un jour à relier les deux séries.

A. — Éléments irréductibles primaires. Métaux.

Les métaux paraissent être, en raison de leur inertie, le produit d'affinités primordiales presque entièrement satisfaites. Ils ne forment pas entre eux de combinaisons véritables, mais se mêlent en toutes proportions dans des

« alliages » où la cohésion semble jouer un plus grand rôle que l'action chimique. Combinés avec les métalloïdes comburants, ils donnent naissance à des composés basiques.

La classification des métaux est malaisée à établir, par suite de leurs analogies peu visibles et de leurs propriétés qui s'entrecroisent. Faute de pouvoir les définir par leurs aptitudes chimiques, on ne les a longtemps distingués que par leurs qualités physiques, plus apparentes. Le classement proposé par Thénard est artificiel et repose sur l'examen d'une seule propriété au lieu de prendre pour base, comme l'exigerait la méthode naturelle, la comparaison de l'ensemble des propriétés. Ce mode de répartition des métaux en six classes d'après leur degré d'affinité pour l'oxygène et la température à laquelle ils décomposent l'eau, méconnaît à la fois des différences importantes entre les corps qu'il réunit et des analogies manifestes entre ceux qu'il sépare. M. Wurtz pense que la théorie de l'atOMICITÉ pourra fournir le moyen d'opérer un classement rationnel où chaque section comprendrait ceux des métaux dont les combinaisons avec les métalloïdes les plus actifs (oxygène, soufre, chlore, iode...) produisent des composés qui se ressemblent par leur constitution atomique. Si, comparant la puissance de combinaison des métaux à celle de l'hydrogène, on la mesure par le nombre des atomes de ce corps ou de leurs équivalents qu'ils peuvent fixer, ils se répartiraient, suivant qu'ils saturent 1, 2, 3, 4 ou 6 atomes, en : 1° monoatomiques (potassium, sodium, argent); 2° diatomiques (baryum, calcium, plomb); 3° triatomiques (bismuth, antimoine, or); 4° tétratomiques (étain, titane, zirconium); 5° hexatomiques (ferricum [couple formé de deux atomes de fer], manganèse, aluminium). Les dérivés de chaque groupe offrent de remarquables analogies de composition. Toutefois l'application de ce principe de classification à un certain nombre de métaux rencontre des difficultés, et cet obstacle, que la

science n'a pas encore réussi à surmonter, empêche d'arriver à un résultat définitif (Wurtz, *Chimie moderne*, p. 246, 293). M. Berthelot croit qu'il serait préférable de consulter les considérations plus nettes tirées de la thermochimie.

En attendant que la lumière soit faite sur ce point, on pourrait admettre une division des métaux en deux groupes d'après leur aptitude générale à se combiner, en s'aidant même des indices que la géologie fournit, car l'ordre de superposition des métaux dans les strates de la masse planétaire se lie à la décroissance des températures et semble continuer les données de l'analyse stellaire. Le premier groupe comprendrait les métaux qui, le plus profondément enfouis dans les entrailles du globe, sont fixes et se refusent à la plupart des combinaisons; le second, les métaux qui, étalés à la surface et modifiables par de moindres températures, se prêtent plus aisément à des transformations chimiques.

a. — Un certain nombre de métaux, remarquables par leur stabilité, se rencontrent à l'état natif dans la nature, sont difficiles à oxyder et ne se laissent engager que dans un petit nombre de combinaisons. Ils semblent avoir été précipités les premiers et constituer le noyau de la planète à l'intérieur de laquelle ils persistent dans une condition chimique immuable. On pourrait encore distinguer parmi eux :

1° Les métaux, jadis appelés « nobles » (or, argent, platine...), qui se trouvent à l'état de pureté dans les terrains les plus anciens et sont réfractaires à une foule de combinaisons;

Et 2° les métaux terreux qui, déjà moins rebelles à l'action chimique, mais communément engagés dans des combinaisons stables, composent la plus grande partie des matériaux pierreux ou terreux dont la planète est recou-

verte et d'où lui vient le nom de « Terre » (fer, aluminium, calcium, etc.).

b. — Une seconde classe de métaux mieux pourvus d'aptitudes chimiques et répandus dans les milieux superficiels comprendrait :

1° Les métaux alcalins (sodium, potassium...) qui doivent à leurs propriétés actives et à leur diffusion dans la masse des eaux de jouer un rôle important dans la production des composés complexes ;

Et 2° l'hydrogène qu'il convient de mettre à part, dans une section intermédiaire entre les métaux et les métalloïdes dont il forme comme le trait d'union. C'est le seul métal qui soit gazeux à la température ordinaire. Aussi l'avait-on d'abord pris pour un métalloïde. Cependant, il se rapprochait des métaux par un ensemble de caractères dont la considération avait conduit M. Dumas et Faraday à déclarer par avance sa nature métallique. Graham put ensuite constater des indices d'alliage entre le platine et l'hydrogène appelé par lui « hydrogenium » sous sa forme solide. Plus récemment (1877), M. Pictet a dissipé enfin tous les doutes en obtenant la liquéfaction et même la solidification momentanée de l'hydrogène.

Les métaux, ainsi classés, se disposent en série et manifestent une aptitude croissante à figurer dans les combinaisons complexes. On va des métaux natifs et inertes aux métaux terreux engagés dans des composés élémentaires d'une fixité notable, puis aux métaux alcalins dissous dans les eaux et prêts à former des combinaisons éventuelles, enfin à l'hydrogène qui est un des éléments de l'eau et entre avec elle dans les composés les plus muables.

B. — Éléments irréductibles secondaires. Métalloïdes.

Le terme de « métalloïde », proposé par Simon en 1808 pour désigner les métaux alcalins et terreux qui offrent de l'analogie avec les métaux et qu'on a fini par rattacher à leur classe, fut généralisé par Berzélius à partir de 1811 et s'applique maintenant à tous les éléments non métalliques. Mais il ne conviendrait guère qu'à l'antimoine, l'arsenic, le bismuth et le tellure, dont l'éclat rappelle celui des métaux. La qualification est impropre pour les autres corps de cette série. On avait proposé de les appeler « idioides » (de ἰδιος, propre, spécial) et il est regrettable que l'emploi de ce mot n'ait pas prévalu.

Les métalloïdes se distinguent des métaux par leurs affinités énergiques et variées. Aptes à s'unir soit avec les métaux, soit entre eux, ils servent de lien à toutes les combinaisons. Ces éléments, d'une importance si grande, ont été tardivement isolés. A part le carbone et le soufre, dont la connaissance est immémoriale, et le phosphore, trouvé au XVII^e siècle, la détermination des plus actifs de ces corps appartient à la seconde moitié du XVIII^e siècle. On découvrit alors en quelques années (1766-1774) l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le chlore et le fluor. La révélation de ces éléments marque le mieux l'époque où la Chimie fut constituée à l'état positif.

La classification des métalloïdes est moins incertaine que celle des métaux, à cause de leurs caractères tranchés et de leurs aptitudes variées. M. Dumas les a répartis en quatre classes d'après l'ordre de leurs affinités pour l'hydrogène. Ces familles comprennent : 1^o le fluor, le chlore, le brome et l'iode; 2^o l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure; 3^o l'azote, le phosphore, l'arsenic et l'antimoine; 4^o le carbone, le bore, le silicium. Les corps de la première classe s'unissent à l'hydrogène à volumes

égaux; ceux de la seconde, dans le rapport d'un volume à deux d'hydrogène; ceux de la troisième, dans le rapport de deux à six; ceux de la dernière sont réfractaires et fixes. Ce classement des métalloïdes, critiquable au même titre que celui des métaux dans le système de Thénard, est également artificiel en ce qu'il ne vise pas l'ensemble des propriétés chimiques. Peut-être serait-il préférable de constituer d'abord deux groupes, savoir : 1° les métalloïdes qui ne se combinent qu'avec des éléments différents et que, pour cette cause, nous appellerons « allosaturateurs »; et 2° les métalloïdes qui possèdent la propriété de lier leurs propres atomes en forme de chaînes et qu'on pourrait, en conséquence, qualifier d'« autosaturateurs ». Cette distinction fondamentale sera justifiée par les divisions ultérieures des radicaux et des composés.

a. — Les métalloïdes de la première série se combinent avec des métaux ou entre eux, dans des proportions généralement simples et toujours bien déterminées. Ce groupe comprendrait la totalité des métalloïdes, moins le carbone et l'azote. Il serait à subdiviser d'après le degré d'activité chimique des éléments. On pourrait distinguer alors :

1° Les métalloïdes non comburants, tels que le silicium, le bore, etc., dont les affinités sont restreintes et qui jouent dans les combinaisons un rôle passif;

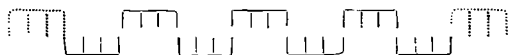
Et 2° les métalloïdes comburants (chlore, soufre, iode, oxygène, etc.) dont les fonctions sont au contraire actives et qui figurent dans un grand nombre de composés. Parmi eux, l'oxygène mérite une mention particulière. Agent énergétique de composition et de décomposition, il se combine avec tous les éléments connus (sauf le platine et le fluor) et contribue conséquemment à constituer une multitude de substances. C'est pourquoi les fondateurs de la Chimie crurent devoir établir sur l'étude de ses dérivés leur système de nomenclature. Le nom d'« oxygène » que

lui a donné Lavoisier signifie « générateur des acides » (de ἀκρῶς, aigu), parce qu'on avait cru d'abord que cet élément servait à les tous produire; mais cette qualification est doublement défectueuse, car il forme aussi des bases et, de plus, il n'est pas le seul élément acidificateur. On aurait pu, avec non moins de raison, l'appeler, comme dans le principe, « air vital », en considération de ce fait qu'il est indispensable au fonctionnement de la vie. Les aptitudes de l'oxygène, à peu près générales et non moins étendues que variées, font de lui le pivot de l'ensemble des combinaisons. Il paraît avoir exercé une influence prépondérante sur la constitution chimique des couches supérieures de la planète, puisqu'il représente $1/5^e$ de la masse de l'atmosphère, $8/9^e$ de celle des eaux, figure dans tous les composés organiques et entre en diverses proportions dans la plupart des substances minérales.

b. — Nous avons réservé, pour en faire une classe à part, deux métalloïdes qui non seulement se combinent avec d'autres corps, mais possèdent en outre la propriété singulière d'unir leurs propres atomes, de les accumuler dans un même molécule et de servir ainsi de support à des groupements indéfinis. L'oxygène pourrait aussi être qualifié d'autosaturateur; toutefois, comme il ne l'est qu'à un très faible degré, ses propriétés, surtout comburantes, doivent le faire ranger dans la classe qui précède; ou mieux il établirait, par ses aptitudes mixtes, une transition entre les deux groupes de métalloïdes, de même que l'hydrogène entre les métalloïdes et les métaux. La section des corps vraiment autosaturateurs qui communiquent à leurs dérivés des propriétés spéciales comprendrait seulement alors 1° le carbone et 2° l'azote.

Le carbone, élément tétratomique, est caractérisé par la faculté de lier ses atomes les uns aux autres, tout en conservant des affinités disponibles, ce qui introduit dans ses combinaisons un principe de complication et de muta-

bilité sans fin. Le fait, signalé par M. Kékulé, de la disposition des atomes de carbone en forme de chaîne dont chaque anneau est un point d'attache pour d'autres éléments, comme le rend concevable la figure ci-dessous,



domine par ses conséquences tout le système des composés de la Chimie organique.

L'azote, doué d'une remarquable neutralité chimique (son abondance dans notre atmosphère, dont il représente les $\frac{4}{5}$ ^{es}, en est la preuve), paraît être le plus isolé des métalloïdes. Cependant, il possède aussi le pouvoir d'autosaturation partielle et, une fois engagé dans la série des composés de carbone qui reçoivent de lui une puissance nouvelle de variabilité, il sert à produire les substances les plus complexes et les plus muables.

Le carbone et l'azote, unis à l'oxygène et à l'hydrogène, composent presque en totalité les substances dites organiques et doivent, à ce titre, former dans l'ensemble des corps simples une sorte de tribu d'élite. Constituant à eux seuls la masse des eaux et celle de l'atmosphère, ils fournissent à la vie les matériaux qu'elle met en œuvre. Deux de ces éléments relativement inertes, le carbone et l'azote, assurent la stabilité des combinaisons; les deux autres, essentiellement actifs, l'oxygène et l'hydrogène, favorisent leur mutabilité fonctionnelle. De là résultent, dans la série organique, des composés qui se comptent par millions. « Ce sont ces quatre corps qui, s'animant aux feux du soleil, le véritable flambeau de Prométhée, se montrent, sur la terre, les agents éternels de l'organisation, du sentiment, du mouvement et de la pensée. » (Dumas, *Philosophie chimique*, p. 207.)

Le classement que nous venons d'esquisser dispose les

éléments irréductibles dans un ordre où leurs aptitudes chimiques sont de plus en plus développées, depuis les métaux les plus inertes jusqu'aux métalloïdes le plus propres à produire des combinaisons complexes. Cette étude nous a conduit des premiers dérivés connus de la substance primordiale au seuil des substances manifestement composées. C'est avec ces matériaux si peu nombreux, mais susceptibles de constituer les groupes les plus divers, que se forment tous les corps composés. Parcourons l'échelle de leurs combinaisons hiérarchiques en commençant par les plus simples dont les produits doivent être rangés parmi les éléments.

2. — ÉLÉMENTS RÉDUCTIBLES. RADICAUX COMPOSÉS

Après le cas où les substances, indécomposables par tous les moyens connus d'analyse, jouissent d'une fixité en apparence parfaite, considérons celui où, quoique déjà composées, elles possèdent encore une fixité notable. Les deux groupes se ressemblent par la persistance de leur condition chimique et diffèrent seulement en cela que cette persistance, absolue pour l'un, est relative pour l'autre. Leur réunion dans une même classe sous la désignation collective d'« éléments » heurtera, nous le craignons, les idées reçues. Pourtant, si l'on écarte la qualification trompeuse et purement hypothétique de « corps simples », tous les corps devront être regardés comme composés et, le motif principal de disjonction étant supprimé, il n'y aura plus lieu de distinguer, parmi les éléments de substance, que des degrés de simplicité dont leur fixité sera l'indice. Les deux sortes d'éléments se caractériseront alors par le fait que les uns se laissent réduire, les autres non. Or, comme nos moyens de réduction se bornent à faire intervenir des influences physiques (la chaleur ou l'électricité), cela revient à dire que les

deux séries opposent à leur action une résistance inégale. Les éléments réductibles sont composés puisqu'il est possible de les défaire; néanmoins, ce sont encore des éléments, car il est difficile de vaincre leur fixité. C'est pourquoi nous les appelons « éléments composés. » Si donc la permanence de composition correspond en Chimie à l'équilibre des masses en Dynamique, celle des éléments irréductibles, qui est ou paraît parfaite, serait l'analogue de l'équilibre stable, et celle des éléments réductibles, qui est imparfaite, de l'équilibre instable. Quoique, dans des conditions données, l'état de composition des seconds puisse persister sans fin de lui-même, ils n'ont qu'une stabilité précaire et la perdent à l'occasion. Il faudrait conséquemment leur assigner une place entre les corps simples, dont rien n'ébranle la fixité, et les composés variables, toujours prêts à parcourir, sous de faibles influences, des cycles de combinaisons. Toutefois, ils se rapprochent davantage des premiers et doivent, pour ce motif, être compris parmi les éléments de substance. A côté d'eux, les composés véritables, exposés à des mutations fréquentes, représentent pour ainsi dire l'affinité en mouvement. Les éléments composés, en balance entre les deux classes, vont de l'une à l'autre suivant qu'ils se simplifient ou se compliquent, comme les corps en équilibre instable passent de l'équilibre au mouvement et du mouvement à l'équilibre.

La science n'a pas encore accordé à ces éléments secondaires l'attention que mériterait leur étude et le rang qu'ils devraient occuper dans la théorie chimique. Il convient, croyons-nous, de faire de leur détermination une section distincte de la Chimie élémentaire. Cet état de composition offre un intérêt extrême, car toutes les substances le traversent nécessairement, soit pour aller de la condition d'éléments irréductibles à celle de composés muables, soit pour revenir de la seconde à la première. La connaissance des éléments réductibles est donc la

plus importante à établir après celle des éléments irréductibles, puisque l'ignorance de cette donnée ne permettrait pas d'aborder méthodiquement l'étude des composés supérieurs. Le rôle de ces substances, déjà considérable dans la Chimie minérale, devient tout à fait prédominant dans la Chimie organique, appelée par Liebig la « Chimie des radicaux composés. »

Nous trouvons en effet une indication du groupe que nous voudrions instituer dans la série des corps que, depuis Berzélius, les chimistes désignent sous le nom de « radicaux composés. » On qualifie ainsi des substances qui, bien que composées, se rapprochent des corps simples par leur valeur de combinaison ou de substitution, et remplissent une fonction analogue dans des composés où leurs molécules tiennent la place d'atomes. La notion des radicaux date de la découverte du cyanogène par Gay-Lussac. Ce gaz, composé d'un atome de carbone uni à un atome d'azote (CAz), forme avec d'autres éléments des combinaisons variées où il figure en guise de métalloïde et se prête même à de doubles décompositions. La liste de ces pseudo-éléments s'est beaucoup étendue depuis, sans qu'on se soit occupé de systématiser leur théorie et de classer leur diversité. A côté du cyanogène, on range d'ordinaire l'oxyde de carbone et des radicaux très complexes comme les radicaux métalliques composés. Ces derniers, dus à l'association d'hydrocarbures avec un métal qui communique au produit ses propriétés caractéristiques, se comportent à la façon des métaux dans des séries de combinaisons et s'unissent à divers métalloïdes pour produire des oxydes, des acides, des sulfures, chlorures, etc. Mais ce sont là des substances trop complexes pour qu'on puisse les appeler élémentaires et leur place serait plutôt parmi les composés définis¹. A plus forte raison faudrait-il éliminer du groupe des radicaux réels les

1. Il y aurait à établir un classement hiérarchique des radicaux en tenant compte par séries des degrés de complexité. Peut-être y trouverait-on l'in-

L. BOURDEAU.

II. — 13

radicaux fictifs, non isolés jusqu'à présent, tels que l'ammonium d'Ampère, l'oxydryle¹ ou encore le méthyle, l'éthyle, l'amyle, etc., qu'on fait parfois figurer dans la même classe.

Afin d'éviter la confusion d'idées qu'entraîne l'application du mot « radical » à des substances si diversement composées, nous le réserverons pour désigner les corps qui résultent de l'association directe de deux éléments irréductibles et qui sont aptes à figurer dans les composés complexes. Les radicaux seront alors des substances prises au plus bas degré de composition, c'est-à-dire généralement binaires. La plupart se rapprochent des corps simples par une fixité qui leur permet de se maintenir sans altération dans les milieux superficiels. Difficiles à défaire, ils ont passé longtemps pour des éléments (la terre, l'eau, le feu). La Chimie se constitua justement à l'époque où l'on réussit à les décomposer. A ce point de vue, l'analyse de l'eau (opérée par Cavendish, 1781) serait, par ses conséquences, la plus importante que les chimistes aient effectuée et marquerait la date décisive.

La classification des radicaux devrait procéder de celle des éléments irréductibles, la continuer et préparer celle des composés variables. Nous distinguerons deux groupes principaux caractérisés par la nature des corps constituants et les aptitudes des dérivés. Le premier comprendrait les radicaux relativement simples et fixes que nous appellerons primaires et qui servent à former les composés définis; le second, les radicaux relativement complexes et muables d'où proviennent les composés indéfinis.

dice d'une fonction périodique analogue à celles que M. Mendéléef a signalées parmi les éléments.

1. Élément supposé de l'eau qui aurait pour formule OH et donnerait par duplication le peroxyde d'hydrogène H²O², ou, par une synthèse imparfaite, l'eau H²O.

A. — Radicaux primaires.

Nous rangerons sous ce titre les corps qui résultent de l'union, dans les proportions les plus simples, des métalloïdes (le carbone et l'azote exceptés) avec les métaux ou d'autres métalloïdes. Ces combinaisons s'effectuent en général à de hautes températures, et, comme il faudrait les y ramener pour disjoindre leurs éléments, elles restent inaltérées aux températures moyennes sous l'influence desquelles les composés complexes se modifient aisément. Les radicaux de ce groupe se rapprochent donc par leur fixité des éléments irréductibles. On pourrait les répartir en deux classes suivant qu'ils résultent d'une combinaison des métalloïdes avec les métaux ou des métalloïdes entre eux. La division ainsi établie serait moins artificielle et plus générale que celle qui se fonde sur l'opposition des oxydes ou des acides, d'après la considération exclusive de ce petit fait que les uns bleussent la teinture rouge de tournesol, tandis que les autres la ramènent du bleu au rouge.

a. — Examinons d'abord les radicaux dus à l'association d'un métalloïde et d'un métal. On aurait à distinguer parmi eux deux groupes, selon que le métalloïde est autre que l'oxygène ou l'oxygène.

Divers métalloïdes, nommés par Berzélius « halogènes » ou générateurs de sels, le fluor, le chlore, le brome et l'iode, se combinent directement avec des métaux et donnent naissance à des composés élémentaires (fluorures, chlorures, bromures, iodures) solubles dans l'eau et capables de cristalliser comme les sels dont ils offrent les principaux caractères. Le plus commun dans la nature et, pour nous, le plus utile de ces corps, le chlorure de sodium ou sel marin, a même servi de type et de dénomi-

nateur à la classe entière des sels. Ceux que forment les éléments halogènes sont dits « haloïdes » et diffèrent des autres sels par une composition moins complexe. A côté de ces corps, il conviendrait de placer les composés binaires qui, comme les sulfures, possèdent une constitution atomique analogue à celle des oxydes.

L'oxygène se combine avec la plupart des métaux et produit des oxydes qui jouent le rôle de bases dans les composés ultérieurs. La théorie atomique les classe d'après le nombre des atomes d'oxygène que fixent un ou plusieurs atomes de métal. On a ainsi les formes M^2O (oxydes de potassium, de sodium, etc.); MO (oxydes de calcium, ferreux, cuivrique, etc.); M^2O^3 (oxydes d'antimoine, ferrique, d'aluminium etc.); MO^3 (bioxydes de baryum, de plomb, etc.); MO^3 (anhydride ferrique, etc. Les oxydes à un atome d'oxygène sont des bases énergiques; ceux qui en renferment trois ont un caractère acide; ceux qui en contiennent deux refusent souvent de s'unir aux acides et sont appelés « singuliers ». — Le plus intéressant de ces corps est l'eau ou protoxyde d'hydrogène dans lequel se confondent les deux éléments doués des aptitudes les plus diverses et qui réalise un des composés élémentaires les plus parfaits. L'eau, de nature mixte, est intermédiaire entre les radicaux de la première série, car elle se forme comme eux à une température élevée, ce qui lui procure une stabilité notable, et ceux de la seconde, dont elle se rapproche par ses multiples affinités. Elle entre, à titre d'élément moléculaire, dans un très grand nombre de combinaisons et, par ses propriétés dissolvantes, en favorise une foule d'autres. Son rôle, considérable dans la production des composés définis, est tout à fait prédominant dans celle des composés indéfinis. Ce remarquable élément constitue, pour ainsi dire, le nœud des combinaisons complexes et la condition chimique du monde différerait beaucoup de ce que nous voyons s'il y avait fait défaut. La science confirme le mot

de Pindare : « L'eau est la meilleure des choses » (τὸ ἄριστον μὲν ὕδωρ. 1^{re} Olympique).

b. — Les radicaux qui proviennent de l'union des métalloïdes entre eux se forment et se décomposent à des températures moins élevées que les précédents et possèdent des affinités plus variées.

On pourrait ranger dans un premier groupe les dérivés directs des métalloïdes autres que l'oxygène. Ainsi le soufre se combine avec le chlore, le brome, l'iode, le phosphore, l'arsenic et le charbon.

Une seconde série comprendrait les composés élémentaires de l'oxygène avec divers métalloïdes, composés généralement acides et qu'on appelle « oxacides » pour les distinguer des « hydracides » dérivés de l'hydrogène. Leur désignation se tire de la nature de l'élément acidifié et de la proportion d'oxygène admise dans la combinaison. Les acides oxygénés correspondent aux oxydes de la classe précédente ; mais, à ce degré de composition, leur liste devrait se restreindre aux acides anhydres ou « anhydrides », seuls radicaux véritables, les acides hydratés ou normaux appartenant à une classe supérieure. Quelques acides, comme l'acide silicique, sont prodigieusement inertes ; mais la plupart des corps de ce groupe se font remarquer par leur activité chimique.

Les radicaux primaires, produit de combinaisons très simples, puisqu'ils se bornent à unir, toujours en très petit nombre, deux sortes d'atomes dont les aptitudes sont limitées, confinent aux éléments dont ils procèdent et se caractérisent par une immutabilité relative. Ces corps, les plus fixes de la nature après ceux qu'on appelle simples, composent la masse des terres et des eaux. Très anciennement formés à de hautes températures et, depuis lors, inaltérés, ils concourent à établir le fondement de la statique chimique.

B. — Radicaux secondaires.

Conséquemment à la division des éléments, nous devons ranger dans une classe distincte les combinaisons où figurent les métalloïdes doués de la propriété d'auto-saturation partielle, car, si restreint que soit ce groupe, il donne lieu à des dérivés sans nombre dont l'importance est très grande. Le carbone et l'azote, associés soit à un métal comme l'hydrogène, soit à un métalloïde comme l'oxygène, produisent des composés élémentaires doués d'aptitudes illimitées. Les radicaux de cette section, moins stables que les radicaux primaires, se prêtent à parcourir, sous des influences minimales, des cycles de transformations et servent de matériaux aux composés indéfinis. Il convient de considérer séparément les composés de carbone et ceux d'azote, chacun de ces groupes étant le point de départ d'une série spéciale.

a. — Le carbone, pivot de tous les composés organiques, se combine soit avec l'oxygène, soit avec l'hydrogène, pour produire des radicaux inégalement instables.

Associé à l'oxygène, il forme un oxyde (oxyde de carbone, CO) et un acide (acide carbonique, CO²).

Uni à l'hydrogène, il donne naissance à des carbures élémentaires (acétylène, CH; éthylène, CH²; hydrure d'éthylène, CH³; formène; CH⁴), premiers termes d'une série qui, se compliquant toujours davantage, devient vite d'une prodigieuse richesse.

b. — Les radicaux issus des combinaisons de l'azote avec les mêmes éléments produisent, par leur union avec ceux de carbone, les composés les plus complexes.

L'azote, combiné avec l'oxygène, donne des oxydes (protoxyde d'azote, Az²O; bioxyde d'azote, AzO; peroxyde

d'azote Az^2O^4); et des acides (acide azoteux anhydre, Az^2O^3 ; acide azotique anhydre, Az^2O^5); enfin un acide perazotique, récemment signalé (1881).

Avec l'hydrogène, il produit l'ammoniaque (AzH^3), qui s'unit, dans des conditions variables, au chlore, au soufre, à l'iode et au carbone. Ce corps marque le terme initial et le terme de retour de tous les composés organiques azotés.

Les plus importants des radicaux secondaires, l'acide carbonique, les carbures d'hydrogène et l'ammoniaque, constituent avec l'eau les éléments des composés indéfinis. C'est avec ces matériaux si simples, mais amenés par une complication progressive à parcourir des cycles de métamorphoses, que se forment les substances aptes à s'organiser et à vivre. La composition de ces corps, définie au début, ne tarde pas à devenir indéfinie et engage l'affinité dans une carrière où elle trouve à réaliser ses développements les plus étendus.

Les éléments réductibles dont nous venons d'esquisser la théorie sont déjà plus nombreux que les éléments irréductibles. Leur ordre instable comporte une alternance de composition et de décomposition. Dérivés directs des corps simples, facteurs de tous les composés variables, ils servent d'intermédiaire aux deux séries et ouvrent l'accès de la Chimie spéciale.

CONCLUSION

Tels sont les éléments, stables dans un cas, instables dans l'autre, de toutes les combinaisons. Malgré le fait de réductibilité qui sépare des corps simples leurs dérivés immédiats, ils se ressemblent par un caractère général de

fixité dont la considération doit les faire ranger dans la même classe. Si l'on tient ces deux sortes d'éléments pour également composés, ils représenteront non plus deux états contraires, mais deux degrés d'un même état, et la science sera obligée de les unir, en raison du trait qui leur est commun.

II. — CHIMIE SPÉCIALE OU CRAMATOLOGIE

SCIENCE DES VARIATIONS DE SUBSTANCE

THÉORIE DES COMPOSÉS VARIABLES

Après avoir constaté ce que la composition des substances a de simple et de fixe, nous devons scruter ce qu'elle offre de complexe et de changeant. Autant les éléments sont difficiles à défaire et capables de traverser, sans perdre leur identité, des séries de combinaisons, autant les composés sont faciles à modifier et susceptibles de subir, sous de faibles influences, des transformations qui les dénaturent. Ce sont là deux aspects bien distincts des phénomènes chimiques, deux modes d'action de l'affinité. Il est nécessaire de les étudier séparément.

La permanence des substances élémentaires tient à la simplicité de leurs matériaux et à la force du lien qui les unit. Elles se composent en effet d'atomes pareils et chimiquement isolés si le corps est irréductible, ou, s'il est réductible, d'atomes hétérogènes directement associés sous forme de composé binaire. Dans le premier cas, l'atome ne comporte de changement d'aucune sorte et son unité, indécomposable par tous nos moyens d'analyse, jouit d'une persistance qu'on est tenté de croire absolue. Dans le second, il sert à produire une molécule composée qu'il est possible de défaire; néanmoins l'agrégat possède encore une stabilité remarquable due au petit nombre de ses éléments et à la puissance de leurs affinités respectives, car, entre toutes les combinaisons où ils seraient aptes à figurer, ils vont de préférence à celles qui les sollicitent

avec le plus d'énergie et, une fois engagés dans ces unions tenaces, y trouvent une immutabilité relative.

Les composés complexes ont une condition différente. Les combinaisons dont ils proviennent s'opèrent non plus entre des atomes liés par des affinités directes et irrésistibles, mais entre des molécules déjà composées qu'associent des affinités moindres. Les substances ainsi produites deviennent variables et leurs chances d'altération augmentent en raison du nombre et de la diversité de leurs matériaux. A mesure que la molécule totale se complique, elle perd de sa stabilité, car chacun de ses éléments, atomiques ou moléculaires, conservant un pouvoir distinct, peut, selon l'occurrence, être enlevé à la combinaison dont il fait partie par une action supérieure à celle qui l'y retient, ou rattacher à son groupe de nouvelles substances, grâce à ses affinités disponibles, ou enfin céder la place à quelque équivalent qui modifie l'agrégat sans le dénaturer. Les changements de ce genre portant sur les deux classes d'éléments, la composition des corps peut ainsi varier : 1° par adjonction, élimination ou substitution de molécules intégrantes ; 2° dans chacune de celles-ci, par adjonction, élimination ou substitution d'atomes. Le lien qui donne à l'ensemble son unité se trouve donc affaibli et relâché. Les composés complexes, exposés à des chances croissantes d'altération et n'ayant à leur opposer qu'une force décroissante de résistance, deviennent aussi altérables que les éléments sont fixes. La mutabilité constitue leur trait distinctif. Les corps de cette série, à la merci des moindres influences capables de troubler l'équilibre d'un seul de leurs éléments, ne connaissent qu'une permanence précaire ou plutôt sont entraînés dans une carrière de transformations éventuelles.

Cette condition des substances révèle donc un état non plus statique, mais cinétique de composition. L'affinité, passant de la puissance à l'acte et de la fixité à la mutation, s'y montre pour ainsi dire en mouvement. Son action, si

elle n'est pas plus réelle (car elle atteint au contraire son maximum de puissance dans les composés les plus stables), est du moins plus apparente. Au lieu de se dissimuler sous la persistance des combinaisons, elle se déploie en variations d'effets et ne connaît plus que passagèrement le repos. Alors que, dans les éléments, la force chimique est quiescente et comme satisfaite, dans les composés, elle tend sans cesse à des combinaisons nouvelles et semble poursuivre, à travers des transmutations sans fin, un équilibre qui lui échappe toujours. Il est vrai que, dans la nature, certains composés complexes jouissent, en fait, d'une durée presque égale à celle des éléments; mais leur fixité tient alors à l'uniformité de condition des couches où ils se trouvent inclus; car les mêmes corps, transportés dans les milieux agités et variables de la surface, subissent, sous leur influence, des altérations plus ou moins rapides. La capacité de maintenir leur état de composition que les éléments irréductibles possèdent au plus haut point et dont les éléments réductibles sont encore amplement doués, les composés complexes ne l'ont que dans une faible mesure et même une partie d'entre eux s'en trouve entièrement dépourvue. Leur substance, disposée à se modifier en divers sens, est promené dans un cercle de métamorphoses et se simplifie ou se complique sans pouvoir jamais persister longtemps dans le même état.

Une différence aussi marquée dans la condition des substances nous paraît devoir motiver la répartition de leur ensemble en deux groupes. Nous avons donné à l'étude des éléments le nom de « Chimie élémentaire » ou de « Stœchiologie »; nous désignerons la science des composés variables par celui de « Chimie spéciale » ou de « Gramatologie » (de *κράμα*, mélange, combinaison). Chacun des corps de cette série, produit d'une combinaison déterminée, constitue, non plus une classe ou un genre, comme les éléments, mais une espèce qu'il faut examiner à part. Tandis que la première section de la Chimie fait des

réponses sommaires à des questions générales, la seconde est tenue de résoudre en détail une multitude de problèmes particuliers.

La Chimie spéciale n'a pas la généralité réelle de la Chimie élémentaire, puisque les éléments, qui parfois se rencontrent isolés dans la nature, restent en dehors de son étude; mais elle a du moins une généralité virtuelle en ce sens que tous les éléments sont aptes à figurer dans des composés plus ou moins complexes. Sur une aire en apparence réduite, les problèmes se multiplient à l'infini, parce que, si le nombre des éléments est borné, celui de leurs dérivés ne l'est pas. Réagissant les uns sur les autres dans des séries de combinaisons qui s'entrecroisent, ils produisent une immense quantité de substances dont la science n'épuisera pas de longtemps la diversité. La Chimie des corps composés constitue donc une étude vaste et nouvelle dont la Chimie élémentaire n'est en quelque sorte que le préambule.

En raison de la variabilité des conditions où ils s'accomplissent, les faits de composition auraient besoin d'être méthodiquement classés. Les chimistes n'en ont pas encore débrouillé la confusion. Essayons d'y introduire quelque ordre en appliquant le principe de répartition qui nous a guidé jusqu'ici. Comme nous avons distingué deux sortes d'éléments d'après le degré de simplicité des substances ou de fixité de leur composition, nous devons distinguer deux sortes de composés en tenant compte du degré de complexité de leur substance ou de sa mutabilité. Certains corps, en effet, se composent de molécules élémentaires et d'autres de molécules composées. Les premiers, associant un nombre restreint d'atomes, ont une constitution relativement simple et ne comportent que des changements limités, dans une mesure qu'il est possible de déterminer exactement; les seconds, qui résultent de l'union d'un grand nombre d'éléments, atteignent un tel degré de complexité que l'analyse est impuissante à cons-

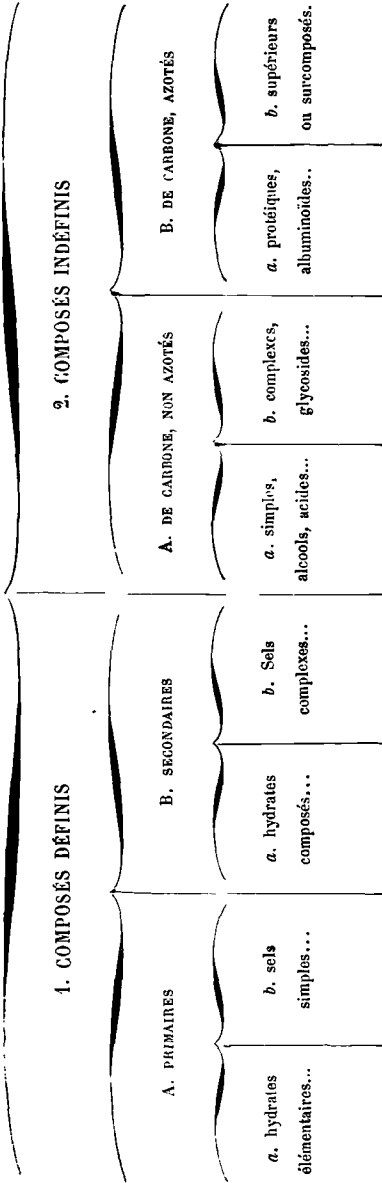
tater leur nature avec précision, et leur variabilité se manifeste par des modifications continues. Nous appellerons les uns « composés définis » et les autres « composés indéfinis. » Cette division correspond en partie à celle que les chimistes ont généralement admise et qui sépare les substances minérales des substances organiques; mais, établie sur une différence de composition et non sur une considération de structure, elle est plus rationnelle et plus exacté. Indiquons les problèmes que la Chimie spéciale aurait à résoudre dans cette double direction de recherches.

1. — COMPOSÉS DÉFINIS

Les composés de la première classe, par suite de leur complexité bornée, peuvent encore être l'objet d'analyses rigoureuses. Ils diffèrent des radicaux en ce qu'ils constituent, au lieu d'agrégats d'atomes, des agrégats de molécules, soit simplement unies, soit plus ou moins altérées et reconstruites. Ils diffèrent aussi des composés indéfinis en ce qu'ils associent des proportions moindres et toujours assignables d'éléments. Ils sont par conséquent moins stables que les premiers et moins changeants que les seconds. Ils se laissent défaire sans trop de peine et refaire non moins aisément. Des influences physiques d'une intensité moyenne suffisent à les modifier. Aussi est-ce parmi ces substances que l'industrie opère les transformations les plus fréquentes. Néanmoins les causes de changement sont encore contenues dans d'étroites limites par la loi des proportions définies. Ces composés peuvent gravir et descendre alternativement une échelle de combinaisons; mais les degrés en sont comptés et les intervalles fixes. La série de leurs variations éventuelles affecte une disposition rectiligne et ne comporte pas un développement indéfini. Elle serait donc comparable,

CHIMIE SPÉCIALE OU CRAMATOLOGIE

SCIENCE DES SUBSTANCES VARIABLES



dans la théorie chimique, aux mouvements directs de la Dynamique ou aux actions vibratoires de la Physique, c'est-à-dire à des effets dont en général l'amplitude est restreinte et la direction constante.

Les composés définis doivent être répartis en deux groupes inégalement complexes et variables qui comprendraient : l'un, les composés peu changeants formés par l'union directe de molécules élémentaires; l'autre, les composés plus instables dus à l'association de molécules agrégées.

A. — Composés définis primaires.

Les composés les plus simples résultent de la combinaison de deux radicaux. Mais l'action chimique ne se borne pas toujours à unir leurs molécules sans les défaire, comme il arrive pour les atomes qui les constituent; elle admet parfois la décomposition de l'une d'elles ou même des deux et comporte des modifications ultérieures par voie de substitution ou d'adjonction. Les substances de ce groupe devraient être classées d'après la nature de leurs éléments et le degré de complexité des produits. Comme exemple de séries à établir, contentons-nous de citer les hydrates et les sels simples.

α. — L'eau s'unit à un grand nombre de radicaux dans des combinaisons élémentaires parmi lesquelles il suffit de mentionner celles d'où proviennent les oxydes hydratés et les acides normaux.

Certains sels haloïdes, comme le chlorure de sodium, ont de l'avidité pour l'eau et tombent en déliquescence à son contact ou même dans l'air humide; mais c'est là une hydratation imparfaite plutôt qu'une combinaison véritable, puisque ces sels perdent ensuite leur eau sans se dénaturer, souvent à l'air libre et sans que le change-

ment soit accompagné d'effets thermiques. L'association de l'eau et des oxydes est plus intime et présente le caractère d'un vrai phénomène chimique. Ainsi l'oxyde de calcium, CaO ou chaux vive, produit en se combinant avec l'eau, H^2O , l'hydrate de calcium, CaO^2H^2 , ou chaux éteinte. Toutefois l'extinction de la chaux vive par une addition d'eau ne se réduit pas à lier ensemble une molécule de chaque substance; une double décomposition s'accomplit alors par suite de laquelle les atomes des deux molécules se dissocient pour former un nouvel agrégat; et lorsque ensuite, sous l'influence de la chaleur, l'eau se sépare de la chaux éteinte, il y a recomposition du chaux vive d'une part, d'eau de l'autre.

La combinaison de l'eau et des acides anhydres modifie leurs propriétés. Les acides hydratés sont les acides proprement dits ou normaux, dont les anhydrides et l'eau sont les radicaux constituants. Ainsi, l'acide sulfurique SO^2H^2 est dû à l'union d'une molécule d'anhydride sulfurique SO^3 et d'une molécule d'eau H^2O . Le gaz acide carbonique CO^2 est l'anhydride du véritable acide carbonique ou acide normal dont la formule serait CO^3H^2 ; mais cet hydrate n'a pas encore été obtenu, son instabilité ne permettant pas sans doute de le fixer.

b. — Les sels simples, que Thénard avait proposé d'appeler « amphides » (de ἀμφι, deux, à cause de la dualité de leurs éléments binaires) et qu'il ne faut pas confondre, au point de vue de la complexité de composition, avec les sels haloïdes, malgré leur analogie d'aspect et de propriétés, résultent de l'action des acides sur les oxydes et les bases. Il est toujours possible de retrouver les éléments dans le composé et l'on pourrait définir les sels : « des corps capables de reproduire leurs générateurs dualistiques, acide ou substance jouant le rôle d'acide, et base ou substance jouant le rôle de base. » Les éléments des sels se classent par la considération du pouvoir de combi-

raison que leurs molécules possèdent. Lorsque les oxydes ne saturent pas la même quantité d'acide, ils sont dits « polyacides ». Par exemple, tandis qu'une molécule d'oxyde de calcium se combine avec une molécule d'acide sulfurique pour produire le sulfate de chaux, une molécule d'oxyde d'aluminium s'unit à trois molécules du même acide pour produire le sulfate d'alumine. En conséquence, le premier oxyde est appelé « monoacide » et le second « triacide ». Même différence parmi les acides : les uns sont saturés par une molécule d'une certaine base ou par son équivalent ; d'autres en exigent deux ; d'autres trois. On pourrait donc les appeler « monobasiques », « bibasiques », « tribasiques »...

Les sels se répartissent en « neutres », chez lesquels l'acide et la base, combinés par équivalents, se neutralisent l'un l'autre, leur saturation réciproque étant aussi parfaite que possible ;

Et en « actifs », lorsque, la saturation étant incomplète d'un côté ou de l'autre, le produit est « acide » s'il contient de l'acide en excès, ou « basique » si c'est la base qui domine. Les sels dont la composition offre ce défaut d'équilibre ont le plus de tendance à figurer dans de nouvelles combinaisons où leurs affinités surabondantes achèvent de se saturer.

La nomenclature des sels réunit comme dans un genre ceux qui renferment le même acide, dont ils empruntent le nom, et différencie les espèces par celui de la base. Les genres de sels les plus importants sont les sulfates, carbonates, azotates, chlorates, etc.

B. — Composés définis secondaires.

Les composés primaires peuvent à leur tour se combiner soit entre eux, soit avec des molécules élémentaires et donner naissance à des composés plus complexes, mais

toujours définis. Nous n'entreprendrons pas d'en dresser la liste, car la mise en ordre de leurs séries est un problème dont la science n'a pas encore trouvé la solution. Notre but étant d'indiquer comment il conviendrait d'établir les groupes de composés plutôt que d'en faire le dénombrement exact, nous nous contenterons de citer, à titre d'exemples, comme nous avons fait pour la classe qui précède, les hydrates complexes et les sels composés.

a. — La plupart des sels simples ont une disposition plus ou moins grande à s'unir à l'eau. Cette hydratation n'est souvent qu'une dissolution incomplète qui ne change pas chimiquement le composé et modifie seulement son état physique. Quand une combinaison réelle se produit, l'eau, dite « de constitution », ne se sépare plus qu'à la chaleur rouge et son élimination fait éprouver au corps une altération profonde. Ainsi, le sulfate de calcium anhydre, SO_4Ca (l'« anhydrite » des minéralogistes), combiné avec deux molécules d'eau, forme le gypse ou sulfate hydraté, $SO_4Ca + 2H_2O$. De même l'argile est un silicate d'aluminium hydraté qui a pour formule $2SiO_2, Al_2O_3, 2H_2O$. Le sulfate d'alumine, plus fortement hydraté, admet dix-huit molécules d'eau : $(SO_4)_3, Al_2, 18HO$.

b. — Les sels simples, qui résultent de la combinaison d'un acide et d'une base, peuvent, lorsqu'ils sont imparfaitement saturés, donner lieu à des associations ultérieures, 1° avec d'autres acides; 2° avec d'autres bases; 3° avec d'autres sels. On conçoit en effet que les sels dont la nature est acide aient de l'affinité pour les bases, comme ceux dont la nature est basique pour les acides, ou que divers sels réagissent les uns sur les autres sous l'influence de leurs éléments respectifs. Les dissolutions de sels, mêlées, occasionnent en certains cas de doubles décompositions, l'acide de l'un se portant sur la base de l'autre et réciproquement, sans que dans les produits nouveaux

ou dans leur résultante totale la proportion des éléments se trouve changée. Les sels solubles agissent également sur les sels insolubles. Par suite de cette latitude de combinaisons, la constitution des sels composés atteint divers degrés de complexité.

Les sels doubles proviennent de l'union de deux sels simples. Ils admettent en outre une faculté d'hydratation. Comme exemple de ces sels où deux bases se trouvent combinées avec le même acide, mentionnons l'alun, sulfate double d'alumine et de potasse qui, de plus, est fortement hydraté. Aussi sa formule est-elle assez compliquée : $(\text{SO}_4)^3\text{AL}_2, \text{SO}_4 \text{K}^2 + 24 \text{H}^2\text{O}$. La molécule d'alun associe donc des séries de molécules et ne comprend pas, en tout, moins de 96 atomes. Les sels doubles sont du reste fréquents parmi les composés d'alumine, si répandus à la surface du globe, car ils abondent dans les roches granitiques, éruptives ou sédimentaires, et Cordier a pu évaluer à 48 p. 100 la proportion de feldspath qui entre dans la composition de l'écorce terrestre. Le feldspath orthose est un silicate d'alumine et de potasse; l'albite, d'alumine et de soude; le labradorite, d'alumine et de chaux; etc.

Enfin, les sels triples, qui réunissent trois bases, offrent l'exemple d'une complication plus grande encore.

Ces deux classes de composés définis, malgré la différence de composition qui les sépare, ont pour trait commun d'associer des proportions déterminées de substances. Leur série va des radicaux élémentaires aux produits les plus complexes que la nature et l'industrie réalisent dans le monde des corps bruts. La création minérale se compose presque entièrement de ces corps dont le nombre, quoique incomparablement supérieur à celui des éléments, est encore limité par cela seul qu'ils résultent de combinaisons opérées entre des quantités assisables d'atomes ou de molécules. Comme ils se modifient sous des influences moyennes, la science a pu, sans trop

de peine, en épuiser à peu près le détail par ses analyses. La constitution chimique de ces composés est maintenant assez bien connue. Leur classement seul laisse à désirer ou plutôt n'est pas encore effectué. Il devrait être la continuation et le développement de celui des substances élémentaires; mais tant que la répartition des radicaux n'aura pas été méthodiquement établie, celle de leurs dérivés sera forcément artificielle et confuse. L'ordre dans lequel les traités usuels de Chimie font connaître les composés définis est tout à fait irrationnel. Ils les exposent pêle-mêle à la suite des éléments dont ils procèdent, sans tenir aucun compte des degrés de composition, c'est-à-dire sans même soupçonner la nécessité d'une classification naturelle. La science n'est pas encore assez avancée pour pouvoir débrouiller le chaos de ces réactions complexes qui se croisent en tous sens. Leur mise en ordre présente de grandes difficultés, car, en raison de la disparité générale des phénomènes chimiques, les différences seules apparaissent; les ressemblances restent cachées et le lien d'analogie qui devrait unir les groupes est malaisé à découvrir. Pour réussir dans cette entreprise, il faudrait substituer aux analyses directes des analyses graduées, concilier ces données avec celles de la synthèse et mettre ainsi en lumière la complication progressive des substances.

2. — COMPOSÉS INDÉFINIS

Les composés indéfinis dérivent des radicaux secondaires comme les composés définis des radicaux primaires. Quoiqu'ils n'associent qu'un très petit nombre d'éléments, ils ont une variabilité presque illimitée parce qu'ils les combinent en toutes proportions. Le carbone est l'élément essentiel de cette série de corps dont il représente en poids la plus forte part. Son rôle consiste, comme nous l'avons

vu, à lier ses atomes en forme de chaîne dont chaque anneau conserve des affinités disponibles et peut fixer éventuellement d'autres corps. L'importance de cette fonction est si grande qu'elle doit caractériser la classe entière des composés appelés jusqu'à présent « organiques » et qu'il serait préférable de nommer « composés de carbone. »

Nous avons écarté la distinction consacrée par l'usage entre les substances minérales et les substances organiques pour nous référer uniquement aux degrés de composition ou de variabilité. Une différence profonde sépare à cet égard les composés définis et les composés indéfinis. Ceux-ci, grâce aux propriétés connectives de leurs éléments principaux, constituent des agrégats de molécules complexes et muables, dont la composition arrive vite à défier l'analyse. Les corps simples qu'ils associent, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, n'ont à la température ordinaire que de faibles affinités les uns pour les autres, mais ils en possèdent d'énergiques pour des corps étrangers et forment par leur alliance un centre puissant d'action. Le soufre et le phosphore, bien qu'ils n'entrent qu'en minime quantité dans l'assemblage, ajoutent encore à son instabilité. Ces composés, fortement hydratés et comme intermédiaires entre les liquides et les solides, sont perméables à une foule de substances diluées et conséquemment exposés à leur contact à des réactions sans fin.

Les substances ainsi constituées sont les plus changeantes qui se puissent concevoir. La construction moléculaire, par suite de démolitions et de réparations continuelles, n'est en quelque sorte jamais achevée. Laurent a comparé ces corps à des noyaux entourés d'appendices et disposés à se défaire ou à se compliquer en détail dans toutes les directions. M. Dumas voit en eux des édifices dont les matériaux mobiles se superposent, se détachent et se remplacent avec une extrême facilité, jusqu'au moment où une réaction énergétique fait brusquement écrouler le tout. Une con-

dition pareille entraîne un mouvement ininterrompu de composition et de décomposition. Ces substances sont tellement altérables que leur conservation, même pour peu de temps, est un problème difficile dont, malgré tous ses efforts, la science n'a pas pu jusqu'ici obtenir la solution. Celles dont nous vivons et qui ont pour nous le plus de prix se corrompent entre nos mains sans que nous puissions en faire d'approvisionnements durables. L'affinité, plus forte que nos artifices, travaille incessamment à détruire ces éléments de richesse, et, au bout d'un intervalle de durée qui paraît bien court, comparé à la persistance indéfinie des composés minéraux, n'en laisse rien subsister.

L'aptitude des composés les plus complexes à produire une multitude de combinaisons dont chacune manifeste des propriétés spéciales et qui toutes se modifient par degrés insensibles, offre seule des conditions favorables à la rénovation de substance et à l'activité sans trêve qui caractérisent la vie. « Un corps vivant, dit de Blainville, est un foyer chimique où à tous moments ont lieu un apport de molécules nouvelles et un départ de molécules anciennes. Les combinaisons n'y sont jamais fixes, mais toujours *in visu* : d'où mouvement continu et chaleur. » De même M. Wurtz : « C'est entre ces deux phases de la création et de la destruction de la matière organique que se déroulent les phénomènes de la vie, de cette vie qui effleure la surface de notre planète comme une flamme vacillante, mais sans cesse alimentée. » (*Chimie biologique*, 1880, 1^{re} partie.) Toutefois, il ne faut pas s'y tromper, la vie est l'effet, non la cause de ces mutations chimiques. Les substances dont est faite la trame des êtres organisés sont des composés de carbone et leur production relève uniquement des lois de l'affinité.

Ainsi, la force de combinaison, toujours active dans cette classe de corps, les remanie sans relâche, associant et dissociant tour à tour les atomes dans les molécules élé-

mentaires, les molécules élémentaires dans les molécules composées et celles-ci dans la molécule intégrale. D'incessantes modifications se produisent par suite d'oxydations et de réductions, d'hydratations et de déshydratations, de doublements et de dédoublements moléculaires, de substitutions diverses... A travers tant de causes de changement, l'action chimique, extrêmement atténuée, cède à de minimes influences. Des forces physiques à peine appréciables, quelques degrés de chaleur en plus ou en moins, un rayon de lumière, un courant insensible d'électricité, suffisent à mettre en jeu ces réactifs d'une merveilleuse délicatesse et font varier peu à peu la composition de corps que détruiraient des actions violentes. Il faut à cette œuvre des agents d'une intensité réduite et le concours du temps. Nos analyses brutales et rapides sont impuissantes à marquer les stades de métamorphoses à la fois imperceptibles et continues. Elles n'ont même pas encore réussi à évaluer avec précision la quantité d'éléments dont se composent les plus complexes de ces substances. La loi des proportions définies qui régit l'ensemble des combinaisons antérieures n'a plus ici d'application stricte. Ces corps sont indéfinis ou pour mieux dire surcomposés. Les degrés qui séparent leurs variations restent indistincts. Sans doute, chaque état de substance est toujours le produit de combinaisons parfaitement déterminées; mais les comptes d'atomes sont si compliqués, les intermédiaires si nombreux et les différences si mal accusées, que les recherches les plus attentives ne parviennent pas à saisir des mutations presque infinitésimales et, tout en maintenant dans sa rigueur théorique la loi des proportions définies, la science se reconnaît actuellement incapable de la vérifier dans la classe des composés indéfinis.

Ces corps se distinguent donc par une complication telle qu'il est malaisé d'en faire des analyses exactes, et par une mutabilité si grande qu'on ne peut guère les fixer. Ils sont

aux composés définis ce qu'en Dynamique les mouvements circulaires sont aux mouvements directs, c'est-à-dire que leur puissance de variation, au lieu de s'exercer entre des limites précises et de suivre une direction constante, semble décrire des courbes et subir de continuelles déviations. Le nombre des composés définis qui procèdent les uns des autres et forment une même série est en effet toujours restreint. Quelques degrés à peine séparent les deux extrêmes de composition et l'affinité va de l'un à l'autre en ligne droite. L'évolution des composés indéfinis semble au contraire parcourir un cycle ou une orbite de combinaisons qui tour à tour compliquent et simplifient la substance. Ces systèmes moléculaires finissent par ressembler à des agglomérations sidérales et admettent comme elles les résultantes dynamiques les plus complexes. Nul ne peut dire combien leur substance traverse de stades pour atteindre le plus haut degré de composition et pour revenir de là au point où elle se trouve définie. En place du mouvement direct et limité, on a un mouvement circulaire et indéfini.

Peut-être même sera-il possible un jour de rendre cette assimilation plus exacte par la détermination du mode de groupement des éléments dans les deux sortes de composés. Il est en effet présumable que les atomes, toujours en petit nombre dans les composés définis, s'y rangent par files suivant un ordre rectiligne, seul favorable à leur équilibre, au lieu que, réunis en quantités considérables dans les composés indéfinis, ils sont contraints de se grouper autour d'un noyau central et de prendre une disposition sphéroïdale. On retrouverait ainsi, dans l'architecture des molécules, la distinction fondamentale établie entre les deux modes de limitation de l'étendue. Malgré l'insuffisance des données sur un sujet si neuf, on peut admettre, par analogie, cette conjecture qui a presque le caractère d'une nécessité logique. La Morphologie nous en fournira d'ailleurs la confirmation, car, tandis que les composés

définis prennent généralement des formes polyédriques, les composés indéfinis s'agrègent en formes arrondies, et la cause de cette différence qui caractérise deux types principaux de structure tient sans nul doute à la configuration initiale des molécules qui servent à constituer les matériaux plastiques.

A raison des difficultés que rencontrait son étude, la science des combinaisons les plus complexes s'est tardivement établie sous le nom de « Chimie organique. » Alors que, dès le début, les composés définis étaient l'objet des investigations de la Chimie minérale, les composés indéfinis n'ont pu être explorés que dans le courant du XIX^e siècle et sont encore très imparfaitement connus. Il importerait avant tout de les répartir avec ordre. Dans le principe, on distribuait les substances organiques en deux séries, l'une végétale, l'autre animale; mais cette division a le défaut, comme celle de l'ensemble de la science en Chimie minérale et en Chimie organique, de se référer à des indices de structure et non à des modes de composition. Elle manque d'ailleurs de précision parce qu'un assez grand nombre de composés (huiles, graisses, sucres, substances protéiques, albumine, etc.) sont communs aux deux règnes. Il serait donc préférable de motiver la bipartition du groupe par la considération du degré de composition. Une première classe comprendrait les composés non azotés de carbone, de nature ternaire et qui prédominent dans les plantes; une seconde, les composés azotés de carbone, toujours quaternaires et qui prévalent chez les animaux. Si l'on voulait étendre jusqu'à la comparaison de ces deux ordres de substances le parallèle indiqué plus haut entre les combinaisons et les mouvements, on pourrait admettre que les composés non azotés de carbone, dont les variations ont le moins d'étendue, correspondent à une rotation exécutée sur place, suivant une courbe régulière et fermée, tandis que les composés azotés, emportés par une sorte de transla-

tion à distance, parcourent des orbites variables et subissent des modifications sans fin.

A. — Composés non azotés de carbone.

Les composés les moins complexes de carbone sont quelquefois désignés sous le nom de « radicaux organiques » ; mais la qualification d'organique devrait être écartée de la Chimie et le terme de radical réservé aux substances élémentaires. Les corps dont nous avons maintenant à nous occuper sont des composés véritables qui ont pour radicaux les carbures d'hydrogène, l'acide carbonique et l'eau. Trois sortes d'éléments, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, suffisent donc à les constituer. Les combinaisons ultérieures des carbures, oxydes et hydrates, donnent naissance, par une simple accumulation d'atomes ou de molécules, à des dérivés qui se compliquent de plus en plus. Les premiers termes de ces séries sont naturellement définis ; mais grâce à des adjonctions successives qui changent la proportion des éléments, ils deviennent vite indéfinis. On voit ainsi les carbures d'hydrogène modifier peu à peu leur composition de manière à contenir, soit une proportion variable, mais toujours double de carbone et d'hydrogène (éthylène, C^2H^2 ; propylène, C^3H^6 ; amylène, C^5H^{10} ; etc.) ; soit une proportion fixe de carbone et une proportion décroissante d'hydrogène, comme dans la série dite aromatique dont les huiles essentielles font partie (hydrure de décyle, $C^{10}H^{22}$; décylène, $C^{10}H^{20}$; menthène, $C^{10}H^{18}$; térébenthène, $C^{10}H^{16}$; etc.) ; soit une proportion croissante d'hydrogène, par une addition graduelle de volumes de ce corps (acétylène, CH^1 ; éthylène, CH^2 ; hydrure d'éthylène, CH^3 ; formène, $CH^4 \dots$) ; soit enfin une proportion croissante de carbone, par une élimination graduelle d'hydrogène (formène, CH^4 ; acétylène C^2H^2 ; picène, $C^{24}H^{14}$; diphenyle, $C^{24}H^{10}$, etc.). Ainsi se produisent,

par des condensations progressives de carbone avec mise en liberté d'hydrogène, des carbures où abonde de plus en plus le carbone (le picène en contient 95 p. 100) et M. Berthelot attribue à cette cause la formation des charbons dont les plus riches conservent encore une proportion d'hydrogène. Les séries de ce genre, prolongées sans terme assignable, voient se réaliser des agrégats de complexité croissante, doués d'affinités variées. Les divers composés qui dérivent d'un type commun ont des analogies frappantes de propriétés, comme si, dans cette classe de corps, le radical représentait le genre ou la ressemblance et le composé l'espèce ou la différence. La détermination de leurs principaux groupes est le fondement de la Chimie organique. Il n'a pas fallu moins de trente années de recherches pour arriver à reconnaître les plus importants. A partir de 1830, on en a découvert, analysé et caractérisé un nombre immense. (Berthelot, *Synthèse chimique*, p. 49, 53.)

Le classement des composés de carbone n'est pas encore méthodiquement établi. M. Berthelot les répartit en huit groupes en tenant compte de leurs propriétés générales ou « fonctions ». Il distingue : 1° les carbures d'hydrogène ; 2° les alcools ; 3° les aldéhydes ; 4° les acides ; 5° les éthers ; 6° les alcalis ; 7° les amides ; 8° les radicaux métalliques composés. Mais une classification pareille, bonne peut-être pour une étude particulière, se concilie mal avec les exigences d'une coordination générale. Les hydrocarbures mis à part à titre d'éléments et les alcalis renvoyés, ainsi que les amides, à la classe des composés azotés, enfin les radicaux métalliques composés devant plutôt rentrer dans l'étude des corrélations chimiques, la classe des composés non azotés de carbone que nous cherchons à établir devra seulement comprendre, d'une part les carbures oxygénés d'hydrogène, de l'autre la série des glycosides.

a. — Parmi les composés les plus simples que produi-

sent les combinaisons du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène ou plutôt de leurs dérivés immédiats, il convient de distinguer : 1° les alcools et les aldéhydes ; 2° les acides et les éthers.

On avait regardé jusqu'ici les alcools comme sans analogues dans la nature minérale ; ils y sont très répandus, au contraire, car ils résultent de la plupart des fermentations et M. Müntz, à l'aide d'un réactif très sensible, a montré récemment (1881) qu'ils existent, à doses de millièmes, dans l'eau, l'air et le sol. Les alcools possèdent une fixité relative et se laissent réduire en vapeur sans se dénaturer. Ils forment une classe de corps doués de propriétés communes et qui donnent naissance à des composés similaires. L'importance des alcools est si grande, en raison du nombre des combinaisons qui s'y rattachent, qu'on a pu comparer la découverte de l'un d'eux à celle d'un nouveau métal (M. Dumas). L'école atomique les classe, par la considération de leur degré de composition moléculaire, en : 1° alcools monoatomiques (alcool méthylique, CH^3OH ; alcool éthylique ou vinique, $\text{C}^2\text{H}^2\text{OH}$; alcool propylique, $\text{C}^3\text{H}^3\text{OH}$; alcool butylique $\text{C}^4\text{H}^4\text{OH}$; etc.) ; — 2° alcools diatomiques ou glycols (glycol éthylémique, $\text{C}^2\text{H}^4(\text{OH})^2$; glycol propylénique, $\text{C}^3\text{H}^6(\text{OH})^2$; glycol butylénique $\text{C}^4\text{H}^8(\text{OH})^2$; glycol anymélique $\text{C}^3\text{H}^{10}(\text{OH})^2$, etc.) ; — 3° alcools triatomiques (glycérine, $\text{C}^3\text{H}^5(\text{OH})^3$...) ; — 4° alcools tétratomiques (érythrite, $\text{C}^4\text{H}^6(\text{OH})^4$...). La série se prolonge sans doute plus loin, car on considère la mannite $\text{C}^6\text{H}^8(\text{OH})^6$ comme un alcool hexatomique (Wurtz).

Les aldéhydes proviennent des alcools par une déperdition d'hydrogène et les régénèrent par une fixation du même élément. L'aldéhyde simple a pour formule $\text{C}^2\text{H}^2\text{O}$; l'aldéhyde propionique, $\text{C}^3\text{H}^4\text{O}$; l'aldéhyde butyrique, $\text{C}^4\text{H}^6\text{O}$; l'aldéhyde valérique, $\text{C}^5\text{H}^{10}\text{O}$; etc.

Les « acides organiques », capables de se combiner avec des bases pour produire des sels, se rapprochent des acides minéraux, sauf qu'ils sont toujours hydratés, les anhy-

drides n'ayant pas de représentants dans cette classe. Les acides constituent des séries homologues très riches qui paraissent susceptibles de s'étendre indéfiniment. On a d'abord la série des acides gras dont la formule est $C^n H^{2n} O^2$, (acide formique, CH^2O^2 ; acide acétique, $C^2H^4O^2$; acide propionique, $C^3H^6O^2$; acide butyrique, $C^4H^8O^2$;... acide margarique, $C^{17}H^{34}O^2$;... acide mélissique, $C^{30}H^{60}O^2$; tous séparés les uns des autres par une différence constante CH^2); — puis la série de l'acide oléique qui a pour formule $C^n H^{2n-2} O^2$ (acide acrylique $C^3H^4O^2$; acide crotonique $C^4H^6O^2$;... acide oléique $C^{18}H^{34}O^2$, etc., chaque homologue différant de ceux qui précèdent par 2 atomes d'hydrogène en moins). — D'autres séries d'acides seraient polyatomiques et comprendraient : l'acide glycolique, $C^2H^3O^3$; etc., — l'acide oxalique, $C^2H^2O^4$; etc., — l'acide malique, $C^3H^4O^3$; — l'acide tartrique, $C^2H^4O^6$; M. Demarçay a signalé récemment (1880) une nouvelle série, plus complexe, d'acides organiques : l'acide tétrique $C^{12}H^{14}O^7$; l'acide pentique, $C^{13}H^{20}O^7$; l'acide hexique, $C^{13}H^{26}O^7$; l'acide heptique, $C^{24}H^{30}O^7$; etc.

Les éthers dérivent des alcools par déshydratation. Ils résultent de la combinaison des alcools avec les acides, les aldéhydes ou d'autres alcools. A chaque espèce d'alcool correspondent ainsi des séries d'éthers. Cette famille est une des plus naturelles et des mieux caractérisées de la Chimie.

b. — Les composés mentionnés dans le groupe qui précède ne sont pas assez complexes pour se prêter à des structures organiques. Les suivants, qui constituent la série des glycosides, manifestent des aptitudes plastiques d'abord assez peu distinctes, puis de plus en plus prononcées. Nous distinguerons parmi eux deux degrés de complexité.

Les substances sucrées et amylacées unissent à une proportion variable de carbone de l'hydrogène et de l'oxygène associés dans les proportions de l'eau. Ce sont, par consé-

quent, des hydrates de carbone. Leur formule générale est $C^m(H^2O)^n$. La glycose ou sucre de raisin renferme 6 atomes de carbone et 6 molécules d'eau, $C^6H^{12}O^6$. La saccharose ou sucre de canne en diffère par une molécule d'eau en moins, $C^{12}H^{22}O^{11}$. L'amidon, $C^6H^{10}O^5$, est moins hydraté encore. On rattache à la même série la cellulose, les gommes, les huiles, graisses, cires, résines et autres hydrates de carbone qui constituent près de 95 p. 100 de la substance des végétaux.

Quelques-uns de ces composés paraissent formés de molécules complexes susceptibles de s'additionner en plus ou moins grand nombre et de modifier par suite les propriétés de l'agrégat. M. Berthelot admet un glycoside élémentaire dont la formule serait $C^{12}H^{10}O^{10}$, et qui, en se combinant plusieurs fois avec lui-même, c'est-à-dire en condensant plusieurs de ses molécules en une seule, produirait : 1° des « diglycosides » $(C^{12}H^{10}O^{10})^2$, comprenant les principes végétaux solubles dans l'eau (gommes, dextrine, glycogène); — 2° des « triglycosides » $(C^{12}H^{10}O^{10})^3$, parmi lesquels se rangeraient les principes végétaux susceptibles de s'hydrater ou de se gonfler dans l'eau (féculs, mucilages, inuline, etc.); — 3° des « tétraglycosides » $(C^{12}H^{10}O^{10})^4$, dont le groupe comprendrait les principes que ne modifie pas le contact de l'eau et que bleuit l'iode (cellulose proprement dite, dermose, xylose, médullose, médulline, fibrone, etc.); ces substances se gonflent dans l'acide sulfurique faible et se dissolvent dans l'acide concentré; — 4° d'une condensation de molécules plus considérable encore, mais non déterminée par l'analyse $(C^{12}H^{10}O^{10})^n$, résulteraient les principes ligneux et les principes dits incrustants (lignose, lignin, lignone, xylogène, vasculose, etc.), insolubles dans l'acide sulfurique. Les plus complexes de ces composés fournissent des matériaux de structure au travail de l'organisation et constituent une part considérable des tissus végétaux.

B. — Composés azotés de carbone.

Les composés non azotés de carbone ont, pris chacun à part, une composition définie; ils font seulement partie de groupes dont les termes se compliquent par degrés et l'on assiste de la sorte à l'atténuation progressive des différences qui les séparent, c'est-à-dire à la formation de composés indéterminés. Dans la classe de corps qui nous reste à examiner, les degrés mêmes s'effacent et les changements deviennent inappréciables. Lorsque, à l'action connective du carbone, s'ajoute l'action modificatrice de l'azote, la mutabilité des composés n'a plus de limites; ils sont réellement indéfinis.

Parmi ces substances les seules dont la composition puisse être exactement fixée seraient représentées par les alcalis et les amides. Les premiers procèdent de la combinaison de l'ammoniaque avec les alcools et les aldéhydes. Les alcaloïdes ont une constitution analogue à celle de l'ammoniaque et s'unissent également aux acides pour former des sels. La composition des alcaloïdes découverts dans un grand nombre de plantes est imparfaitement connue. — Les amides sont dus à la réaction de l'ammoniaque sur les acides. Leur nombre est pour ainsi dire illimité. La formule algébrique des combinaisons susceptibles de les produire en porterait le total éventuel à plusieurs centaines de mille.

Les composés vraiment indéfinis comprennent, d'une part les substances protéiques ou plasmatiques et leurs dérivés directs; de l'autre, les substances musculaires et nerveuses. Les premières, plus simples et moins variables, sont en partie communes aux deux règnes organiques; les secondes, d'une complexité et d'une mutabilité prodigieuses, sont propres aux animaux. La lumière n'est pas faite sur la constitution de ces corps, et les formules provi-

soires qu'on assigne à leur composition sont un sujet de discorde entre les chimistes.

a. — On appelle « protéiques » des substances azotées neutres produites par l'union de quatre éléments principaux, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, dont les atomes se groupent en très grand nombre dans des molécules mal déterminées. On tient qu'une molécule d'albumine associe près de 900 atomes ($C^{100}H^{310}O^{120}Az^{50}$) auxquels se joignent des atomes adventices de soufre, de phosphore, de potasse, de soude, de chaux, de fer, etc. Enfin, des molécules d'eau, très-nombreuses d'ordinaire, puisque cet élément constitue près des $9/10^{es}$ des tissus vivants, servent à hydrater le tout. On conçoit l'instabilité d'un pareil ensemble où chaque élément conserve des affinités distinctes, toujours prêt à se détacher si elles l'appellent ailleurs ou à contracter sur place de nouvelles alliances qui compliquent l'agrégat. En outre, ces matériaux réagissent les uns sur les autres dans des conditions qui varient suivant les influences en jeu. Des mutations continuelles s'accomplissent ainsi dans le composé, atome par atome, molécule par molécule, et déterminent des additions, des retranchements, des substitutions de substance ou des changements isomériques. Les doublements et dédoublements de molécules paraissent surtout jouer un grand rôle. Si l'on admet avec Mulder, sous le nom de « protéine », un composé primordial dont la formule serait $C^{40}H^{310}O^{12}Az^5$, la formule si compliquée de l'albumine se réduirait à une agglomération de dix molécules de cette substance.

La protéine, essentiellement variable, compte plus d'un millier de formes isomériques et ses complications donnent lieu à un nombre immense de dérivés dont les différences sont insaisissables. Quoique les animaux soient capables de produire la plupart des composés dont la protéine est le point de départ, ils n'ont pas le pouvoir

de la produire elle-même et doivent l'emprunter aux plantes, seuls organismes en état de la créer par une synthèse d'éléments inorganiques. C'est même là l'unique trait qui permette d'établir entre les deux règnes une barrière absolue et précise de séparation. Les transformations de la protéine, restreintes dans le monde végétal à la production de composés albuminoïdes, se développent dans le monde animal, réalisent une complexité croissante et communiquent aux êtres une puissance particulière de vitalité. La science a déterminé jusqu'ici de 85 à 90 dérivés protéiques dans le corps humain et de 90 à 100 dans l'ensemble des mammifères. Il en reste sans doute beaucoup à découvrir. Le classement de ces substances n'est pas encore opéré. Peut-être conviendrait-il de distinguer :

1^o Les substances albuminoïdes, soit végétales (gluten, glutine, chlorophylle...), soit animales (albumine, fibrine, caséine, globuline, vitelline, hémoglobine, etc.). Les composés de cette série diffèrent par leur solubilité. Sous l'influence de la chaleur et de certains réactifs, ils passent de l'état liquide et soluble à l'état solide et insoluble, comme on le voit par le blanc d'œuf. Ils se contractent par l'effet de commotions électriques.

2^o Les substances cartilagineuses ou gélatineuses (osséine ou collagène, chondrogène, kératine, élastine, fibroïne, etc). Au rebours des composés précédents, qui renferment moins d'azote et plus de carbone, ceux-ci contiennent moins de carbone et plus d'azote.

b. — Une dernière classe de substances résulte de combinaisons plus complexes encore. Les matières protéiques et leurs dérivés directs ont une certaine fixité de composition et procurent aux tissus passifs des animaux une condition relativement stable; les éléments de leurs tissus actifs se caractérisent au contraire par une complication et une mutabilité si grandes que leur étude constitue le problème le plus difficile de la Chimie. A peine com-

mence-t-on à pénétrer le mystère de ces transformations, dont la délicatesse défie nos réactifs trop énergiques. Nous distinguerons les composés musculaires et les composés nerveux en attendant que la science puisse les mieux qualifier par leur nature chimique.

Les substances qui entrent dans la constitution du tissu musculaire se rattachent à la fibrine. On ignore le détail des réactions qui s'accomplissent, soit dans le muscle en repos, soit dans le muscle en action, et dont la valeur est en rapport avec la force emmagasinée ou le travail effectué. Le muscle, alcalin à l'état de repos, est acide quand il a travaillé. La composition même du muscle vivant est mal connue, car on ne peut l'analyser que quand il a cessé de vivre et la mort altère vite sa substance, comme en témoigne la rigidité cadavérique. On sait seulement qu'il contient plusieurs composés albuminoïdes dont un a reçu le nom de myosine, des corps non azotés (le glycogène, l'inosite,...), des graisses, des sels, etc.

La substance nerveuse est le plus complexe et le plus muable de tous les corps composés. Son étude, qu'on n'a osé aborder que de nos jours, révèle, sous une trompeuse uniformité d'aspect, une richesse inouïe de composition et une variabilité en rapport avec l'activité des fonctions dont elle est investie. D'après des analyses récentes, les composés de ce groupe, qui se rattachent à la « neurine », contiennent, outre une forte proportion d'eau nécessaire pour assurer la mobilité, la diffusion et la dialyse de leurs éléments, des principes oxygénés ternaires, tels que la cholestérine dont le rôle n'est pas connu, des substances azotées quaternaires (cérébrine, stéaroconote, phrénotine...), de l'albumine dans un état particulier, enfin des substances phosphorées quinaires¹, moins stables encore,

1. Le phosphore paraît remplir dans les organismes animés une fonction essentielle, quoiqu'il n'y figure qu'en minime proportion. Il forme un phosphate de chaux dans les os, un phosphate de magnésie dans les muscles, un phosphate de soude dans le sérum du sang, enfin un phosphate

plus solubles et plus oxydables que les précédentes, mais également colloïdes. On les subdivise en képhalines, myélines et lécithines, les premières facilement oxydées, les secondes relativement fixes, les dernières aisées à désagrèger. En tout, la substance nerveuse ne comprend pas moins de 18 composés actuellement déterminés et dont les réactions s'entrecroisent. Ceux de ces corps qui sont acides ont de l'affinité pour les alcalins, les alcalins pour les acides, les alcaloïdes pour les sels... Par suite de ces aptitudes variées, la pulpe nerveuse s'assimile avec une grande facilité les éléments du sang, métalliques, acides, salins, alcalins ou alcaloïdes, et les convertit en albuminoïdes non moins instables que complexes, dont les forces latentes, accumulées à l'état de tension dans le système, se dégagent et passent à l'état de force vive lors de la décomposition fonctionnelle des tissus. Par contre, la substance nerveuse, stimulée par des excitants appropriés, se consume en agissant, brûle ses matériaux, perd sa graisse phosphorée et sa neurine. Elle a donc besoin de réparations continuelles pour compenser d'incessantes altérations. Aussi, la circulation lui répartit-elle une quantité de sang supérieure à celle que reçoivent les autres tissus et qu'on évalue pour l'homme au 5° de la circulation totale. La science n'a pas encore introduit l'analyse dans l'étude, en apparence inextricable, des décompositions et des recompositions de la substance nerveuse. Pour rendre compte de sa nutrition et de ses fonctions normales ou pathologiques, il faudrait avoir démêlé l'ordre des réactions chimiques dont elle est le siège. Or tout espoir d'y parvenir sera vain tant qu'on n'aura pas reconnu avec précision les radicaux qui la composent et les degrés de sa complication moléculaire. Il y a là tout un monde à explorer. On voudrait pouvoir suivre dans le détail les modifications

de potasse dans la substance nerveuse. On sait l'adage de Moleschott : « Sans phosphore, pas de pensée. » (*Traité des aliments*, p. 115, 6.)

subies par la substance nerveuse sous l'influence des moindres excitations internes ou externes. Des actions auxquelles les autres substances restent insensibles, de légères pressions, la rencontre de particules sapides ou odorantes, une onde sonore, un rayon de chaleur ou de lumière, le moindre courant d'électricité, impressionnent cette matière d'une délicatesse exquise et provoquent dans son état de composition des changements qui se traduisent en phénomènes de sensibilité ou en causes de mouvement. Le clavier si varié de nos sensations, les émotions qu'elles suscitent, les manifestations de la pensée et les actes de la volonté, se lient à des mutations de substance opérées sans relâche au sein du système nerveux. Le processus de ces phénomènes, dont la connaissance devrait être le point de départ d'une Psychologie rationnelle, est enveloppé de l'obscurité la plus profonde, et la métaphysique, amie des ténèbres, en profite pour échafauder librement ses hypothèses.

L'ensemble des composés indéfinis forme une classe bien déterminée de combinaisons dont le carbone est le lien et dont les termes ont pour caractère de se modifier graduellement dans un cas, insensiblement dans l'autre, suivant que leur constitution chimique exclut ou admet l'azote. Ces corps, les plus complexes et les plus instables qui soient sortis du laboratoire de la nature, évoluent à travers des métamorphoses sans fin. A ces séries de composés correspondent, comme nous le verrons plus loin, des séries de formes et des séries de fonctions. Les aptitudes plastiques et l'irritabilité que possèdent les plus élevées de ces substances les disposaient à s'organiser et à vivre. Les composés indéfinis portent en eux un principe de mutabilité qui se développe activement dans la création organique et contraste d'une manière frappante avec la fixité des composés définis dans la création minérale pour l'ensemble de laquelle le cycle des transformations paraît de-

puis longtemps fermé et ne se continue que par exception dans les milieux superficiels.

CONCLUSION

Ainsi, les substances que, par opposition aux éléments, nous appelons composées, se déterminent à deux degrés principaux de complexité, suivant que leur composition est définie ou indéfinie. Les corps bruts et les êtres vivants nous offrent des spécimens innombrables de ces sortes de combinaisons, mais n'en épuisent pas sans doute la diversité virtuelle. Dans le milieu cosmique où sont confinées nos explorations, les phénomènes chimiques s'accomplissent entre les limites extrêmes que marquent, d'une part, les éléments irréductibles, de l'autre, les composés de carbone. Des éléments simples ou composés, des composés définis ou indéfinis, tels sont en somme les matériaux ou les produits de l'affinité dans notre monde terrestre. Quoique la pensée ne se refuse pas à concevoir en théorie la possibilité d'éléments plus simples et de composés plus complexes, la science n'a pas, jusqu'ici, constaté de groupements inférieurs ou supérieurs à ceux que nous venons d'indiquer et là prend fin la recherche des faits de composition.

CHIMIE SYNTHÉTIQUE

SCIENCE DES RAPPORTS DE COMPOSITION

L'analyse montre de quoi chaque substance se compose. C'est là une donnée nécessaire, mais qui ne saurait suffire, parce qu'elle laisse ignorer l'ordre et la suite des combinaisons. Il faut maintenant étudier comment les substances se composent. La science doit, pour cela, changer de méthode, procéder par voie de synthèse et chercher par quelles sortes de rapports les assemblages d'atomes arrivent aux divers degrés de composition dont le détail est connu.

Cette seconde partie de la Chimie aurait à résoudre deux genres de problèmes, car les corrélations des combinaisons peuvent être spéciales ou générales. Nous devons considérer d'abord leur enchaînement, qui fait dériver les substances les unes des autres par séries; ensuite leurs lois, qui régissent l'ensemble. La Chimie synthétique se divisera conséquemment en : 1^o Chimie comparée; et 2^o Chimie générale. Indiquons à grands traits le programme de ces sciences.

I. — CHIMIE COMPARÉE

SCIENCE DES RAPPORTS SPÉCIAUX DE COMPOSITION

THÉORIE DES RAPPORTS DE COMPOSITION

La Chimie comparée a pour objet d'établir comment les substances se combinent entre elles et se compliquent par degrés. L'analyse ne nous instruit guère à cet égard. Dans les corps, qu'elle examine chacun à part, elle s'applique uniquement à résoudre les substances en leurs éléments et se borne à constater un état donné de composition. Cela ne conduit qu'à des résultats particuliers et même, comme décomposer les choses revient à les détruire, on ne sait d'elles, au terme de l'opération, qu'un état qui n'existe plus. En outre, bien des lacunes subsistent dans la connaissance. On tient les bouts d'une chaîne sans avoir le compte de ses anneaux. Cette notion, beaucoup trop sommaire, a donc besoin d'être complétée. Il importe de déterminer les stades de l'évolution chimique et de suivre l'ordre des combinaisons qui font passer les substances de leur condition la plus simple à leur condition la plus complexe. Par une marche inverse de celle de l'analyse, la synthèse coordonne les faits de composition et rattache chaque corps, d'une part aux éléments dont il procède, de l'autre à ses dérivés ultérieurs. Elle vise, non plus à défaire les substances, mais à les produire et doit édifier pièce à pièce l'agrégat. Dans un cas, l'étude va du composé à ses éléments par une échelle descendante dont on peut franchir plusieurs degrés ou même tous les degrés à la fois; dans l'autre, elle s'élève des éléments au composé

par une échelle ascendante dont tous les échelons sont à gravir successivement. La Chimie comparée doit apprendre à reconstituer les composés de toute espèce en partant des éléments irréductibles et en suivant pas à pas la complication progressive des substances.

Les recherches de ce genre, qui exigeaient des données préalables, ont été tardivement abordées. Il fallait avoir effectué beaucoup d'analyses exactes pour pouvoir entreprendre des synthèses méthodiques. De nos jours enfin, la Chimie fondée sur la synthèse tend à s'organiser en section distincte. Son champ d'investigation est aussi étendu que celui de la Chimie analytique, puisqu'on opère sur le même ensemble de substances. Il est même plus varié, car il comprend, outre le réel restreint, le possible illimité. Dès que la science dirige à son gré la marche des phénomènes, elle dispose d'une latitude sans bornes et devient libre de tenter toutes les combinaisons qu'autorisent les lois de l'affinité, tandis que l'ordre du monde n'en a réalisé qu'une faible part.

Le classement des problèmes spéciaux de synthèse doit être conforme à celui que nous avons adopté pour répartir, au point de vue de l'analyse, les faits de composition. Il convient d'examiner d'abord les relations des éléments de substance, ensuite celles des composés complexes, enfin leurs rapports communs.

1. -- RELATIONS DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE

Avant même de chercher quelles combinaisons les éléments de substance sont susceptibles de produire, on souhaiterait savoir celles dont ils sont le produit. La matière, prise au plus bas degré de composition, dans les corps irréductibles, laisse en effet reconnaître des indices d'une nature complexe; mais, tant que la science ne sera pas mieux fixée sur ces éléments problématiques, on n'en

CHIMIE COMPARÉE

SCIENCE DES RAPPORTS DE COMPOSITION

a. Rapports des métaux.	b. Rapports des métalloïdes.	a. Rapports des radicaux primaires.	b. Rapports des radicaux secondaires.
A. RAPPORTS DES ÉLÉMENTS IRRÉDUCTIBLES.	B. RAPPORTS DES ÉLÉMENTS RÉDUCTIBLES.	a. Rapports des composés définis primaires.	b. Rapports des composés définis secondaires.
1. RAPPORTS DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE.		a. Rapports des composés indéfinis primaires.	b. Rapports des composés indéfinis secondaires.
		2. RAPPORTS DES COMPOSÉS VARIABLES.	
		B. RAPPORTS DES COMPOSÉS INDÉFINIS.	

RAPPORTS DES SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES ET DES SUBSTANCES COMPOSÉES.

pourra raisonner que par conjecture et la synthèse effective aura pour point de départ l'association des éléments déterminés avec précision par l'analyse.

On admet communément que les corps simples ne se combinent qu'entre eux, l'hétérogénéité des substances étant une condition essentielle pour que l'affinité entre en action. Cependant des atomes de même espèce peuvent se grouper en quantités variables et les propriétés de l'agrégat différent selon le nombre de ses éléments. On sait, par exemple, que l'oxygène libre de l'air, d'après la manière dont il se comporte dans certaines combinaisons, doit se composer de deux atomes accouplés et constituer par conséquent un oxyde d'oxygène, O^2 , qui implique un état plus simple, O , où les atomes seraient isolés. Sous une autre forme, celle d'ozone, l'oxygène associe trois de ses atomes et constitue un peroxyde d'oxygène, O^3 . La densité de l'ozone, égale à une fois et demie celle de l'oxygène, fait présumer qu'il résulte d'une condensation de trois volumes d'oxygène en deux. Cette modification d'un élément par lui-même n'a pas pour cause un simple effet d'adhérence ou de cohésion, puisque, sous ses deux états d'oxygène libre et d'ozone, le même corps manifeste des propriétés distinctes; c'est un cas de combinaison, et il autorise des inductions générales sur la nature probablement composée des substances élémentaires. L'école atomique, érigeant le fait en règle, regarde comme biatomiques la plupart des éléments à l'état gazeux. Pour elle, le chlore est un chlorure de chlore, l'iode un iodure d'iode, l'hydrogène un hydrose d'hydrogène... On explique par la séparation de leurs éléments dédoublés la diminution de densité qu'éprouvent les vapeurs de ces corps, soumises à des températures élevées, les formules Cl^2 Br^2 I^2 ,... donnant alors des gaz composés d'atomes simples, Cl , Br , I ... qui s'associent de nouveau par couples lors du refroidissement. On admet même qu'en vapeur le phosphore est tétratomique et le soufre hexatomique. Le carbone possède

au plus haut degré la faculté de souder ses atomes les uns aux autres et de constituer ainsi des chaînes sans fin dont les anneaux servent ensuite de points d'attache à d'autres éléments. L'azote a également un pouvoir d'autosaturation partielle. Enfin, les molécules composées s'accumulent à leur tour et les propriétés de leur assemblage se modifient en raison de doublements et de dédoublements successifs. Tous ces faits semblent indiquer une capacité générale de combinaison du même avec le même, et cette aptitude, étendue par hypothèse à la substance primordiale, permettrait de concevoir comment d'un fonds uniforme de matière homogène ont pu sortir des éléments hétérogènes.

En attendant que la science ait substitué des certitudes à ces conjectures, bornons-nous à étudier les relations des éléments que nous connaissons et celles de leurs dérivés directs. Nous avons à considérer les rapports des éléments irréductibles d'où proviennent les éléments réductibles et les combinaisons de ces derniers qui donnent naissance aux plus simples des composés définis.

A. — Corrélations des éléments irréductibles.

Tous les corps simples sont aptes à se combiner entre eux. On n'en connaît point qui soit dépourvu d'affinité pour les autres et voué à un éternel isolement. Le jeu des actions chimiques les accouple diversement et la science doit avant tout déterminer ces rapports qui marquent le point d'où partent de longues séries.

a. — Les métaux associés ne forment pas des combinaisons véritables, mais seulement des alliages où ils se mêlent en toutes proportions sans perdre leur caractère métallique. La force chimique joue un rôle incertain dans ces unions qui modifient insensiblement les propriétés des substances et semblent continuer parmi les solides l'état

de diffusion si commun parmi les liquides et général parmi les gaz. Cependant, tous les métaux ne sont pas également disposés à s'allier et le pouvoir électif qui détermine leurs préférences n'est pas sans analogie avec l'affinité.

L'industrie a su très anciennement produire entre des métaux qu'il suffisait de fondre ensemble, divers alliages qui, en raison de leurs qualités précieuses, ont été l'objet de fabrications suivies. Contentons-nous de mentionner, à cause de son importance historique, le bronze dont l'emploi caractérise une phase de civilisation intermédiaire entre l'âge de pierre et l'âge de fer. Beaucoup d'autres alliages (étain et fer, zinc et cuivre, fer et zinc, etc.), varient au gré de nos besoins les propriétés des métaux et l'utilité de ces composés est souvent supérieure à celle de leurs composants.

b. — Les métalloïdes allosaturateurs s'unissent soit avec les métaux, soit entre eux.

Les métaux, incapables de réagir les uns sur les autres, ne manifestent d'activité chimique que combinés avec les métalloïdes. Ceux-ci, mieux doués, semblent leur communiquer alors une part de leurs affinités puissantes et les entraînent avec eux dans le cours de leur évolution chimique. Les deux sortes d'éléments, unis par couples, produisent des oxydes, des sels haloïdes, etc. La classification de Thénard mériterait d'être rappelée ici, moins pour sa valeur propre que comme indice des conditions où se forment les oxydes. Elle répartit les métaux en six groupes d'après le degré d'énergie de leur affinité pour l'oxygène. Les cinq premiers groupes comprennent les métaux dont les oxydes sont irréductibles par la chaleur et qui décomposent l'eau : 1°, à la température ordinaire (métaux alcalins) ; 2°, vers 100° (métaux terreux) ; 3°, à la température rouge (fer, zinc, etc.) ; 4°, à la chaleur blanche (étain, antimoine, etc.) ; 5° aux plus hautes températures. Un 6° groupe contient les métaux qui ne décomposent l'eau à

aucune température et dont les oxydes sont réductibles par la chaleur (mercure, argent, platine...). M. Sainte-Claire Deville a montré que, pour compléter ce système de classement, il faudrait instituer une 7^e section où se rangeraient les métaux qui ne décomposent pas l'eau et dont les oxydes sont irréductibles par la chaleur (aluminium, glycinium). Sous l'influence de la chaleur, les oxydes métalliques se condensent et se changent en oxydes inférieurs dont la stabilité va croissant avec le degré de condensation (Berthelot).

Les métalloïdes, combinés avec l'oxygène, donnent des acides variés (oxacides, tels que les anhydrides sulfureux, SO^2 ; sulfurique, SO^3 ; phosphoreux PhO^2 , phosphorique PhO^3 , etc); avec l'hydrogène, des hydracides (acides chlorhydrique HCl , iodhydrique HI , fluorhydrique HF , etc.); enfin, unis entre eux, divers radicaux de même degré.

Quoique l'industrie ait de bonne heure su produire quelques-uns de ces composés élémentaires, les premières synthèses méthodiques ne remontent guère à plus d'un siècle. Celle de l'eau, accomplie par Lavoisier d'après les indications de l'analyse, marque leur point de départ dans l'histoire de la science.

Les combinaisons du carbone et de l'azote présentent un intérêt particulier à cause de l'importance de leurs dérivés. La synthèse du carbone et de l'oxygène s'opère d'elle-même à la température de la combustion et donne de l'oxyde de carbone, CO , ou de l'acide carbonique CO^2 . Le carbone et l'hydrogène se combinent sous l'influence de l'arc électrique. Ils s'unissent alors directement, par atomes égaux, pour former l'acétylène ou protohydride de carbone, CH . L'acétylène, combinée avec des quantités croissantes d'hydrogène par l'effet de la chaleur rouge, produit d'abord l'éthylène ou bihydride de carbone CH^2 , puis l'hydride d'éthylène ou trihydride de carbone, CH^3 ; enfin, d'une réduction de ce dernier corps à la température de la chaleur rouge, entraînant la perte d'une

partie de son carbone résulte le formène ou quadrihydrure de carbone, CH_4 . Ce sont là les quatre combinaisons fondamentales du carbone avec l'hydrogène, la première donnant les autres par série (Berthelot, *Synthèse chimique*, p. 21).

Mentionnons enfin l'union de l'azote et de l'hydrogène qui s'effectue sous l'influence d'une décharge électrique et produit l'ammoniaque AzH_3 . Les composés d'azote et d'oxygène prennent naissance dans l'atmosphère par l'action de l'électricité sur les éléments de l'air.

Ainsi les éléments irréductibles se combinent par couples pour produire des substances binaires aptes à jouer le rôle d'éléments de second ordre. Tandis que les métaux se confondent dans les alliages qui constituent moins de véritables espèces que des mélanges confus, les métalloïdes associés aux métaux forment des oxydes, des sels haloïdes, etc., et, unis entre eux, des acides, etc. C'est de ce premier fonds que va sortir toute la série des corps composés.

B. — Corrélations des éléments réductibles.

Les éléments réductibles dont nous venons d'indiquer la genèse, se combinant à leur tour dans des conditions diverses, donnent lieu aux plus simples des composés variables.

a. — Les radicaux primaires, qui proviennent de l'union d'un métalloïde avec un métal ou avec un autre métalloïde (le carbone et l'azote exceptés), sont disposés à se lier par des affinités respectives. Ainsi les oxydes associés à l'eau donnent les hydrates métalliques; les acides anhydres, combinés avec le même élément, consti-

tuent les acides hydratés ou normaux; les oxydes se combinent avec les oxacides ou les hydracides pour former des sels simples...

b. — Les radicaux secondaires, auxquels le carbone d'abord, puis l'azote communiquent leurs propriétés connectives, ouvrent la nombreuse série des substances d'où procèdent, en se compliquant toujours davantage, les composés indéfinis. L'acétylène, hydrocarbure élémentaire, ne se borne pas à produire des dérivés atomiques où, pendant que la quantité de carbone reste fixe, la proportion d'hydrogène va croissant (CH , CH^2 , CH^3 , CH^4); ce corps peut en outre agglomérer ses molécules et les condenser de manière à peser plusieurs fois autant sous le même volume. La benzine, par exemple, avec la même composition centésimale que l'acétylène, pèse trois fois plus. Des multitudes de composés hydrocarbonés résultent de combinaisons entre les radicaux de carbone ou de leur union avec l'eau. Les alcools se forment par la synthèse de l'eau et du gaz oléfiant; les acides organiques, par celle de l'eau ou des alcoolates alcalins avec l'oxyde de carbone, etc.

Bien que les radicaux primaires et les radicaux secondaires, investis de fonctions chimiques distinctes, paraissent constituer deux groupes qui évoluent séparément pour aboutir l'un aux composés définis, l'autre aux composés indéfinis, ils se touchent néanmoins par une commune frontière sur laquelle s'établissent des rapports de composition. Les éléments du second groupe sont empruntés au premier et ses dérivés les moins complexes ont une nature mixte. Des composés élémentaires de carbone et d'azote se rencontrent dans les deux séries et l'eau leur sert de lien commun. Même parvenus à un degré supérieur de combinaison, les composés minéraux et les composés organiques conservent la faculté d'entrecroiser leurs réac-

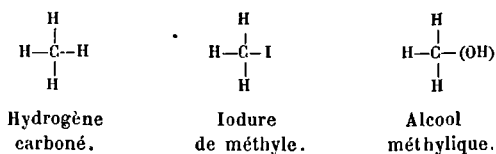
tions comme ces fleuves qui, rapprochant leur cours, communiquent sans se confondre par un système de canaux.

Après le rapport fixe qui détermine la constitution des radicaux ou de leurs dérivés immédiats, il y aurait à considérer le rapport variable qui les modifie par circonstance. En dehors des mutations profondes dont le résultat est de dénaturer leur substance, les corps peuvent en effet subir deux sortes de changements dus, soit à l'ordre de collocation de leurs éléments dans les cas d'isométrie, soit au remplacement d'un ou de plusieurs de ces éléments dans les cas de substitution.

Une molécule composée admet parfois divers modes de construction avec les mêmes matériaux. Des corps dont la composition est identique peuvent manifester des propriétés dissemblables et la cause de ce phénomène doit tenir au groupement variable des éléments dans l'agrégat. On appelle « isomères » les substances qui se ressemblent par leur composition et diffèrent par la distribution interne de leurs éléments. On distingue même deux cas d'isométrie : la « métamérie », où les atomes de même nature, unis en même nombre dans des molécules de même grandeur, s'y trouvent autrement disposés; et la « polymérie », où les atomes de même espèce, unis en même proportion, mais non en même nombre, produisent des molécules de grandeur inégale. Les phénomènes d'isométrie deviennent d'autant plus fréquents que les substances sont plus complexes et, dans les composés de carbone, leur importance est considérable.

La théorie des substitutions a été fondée sur l'observation du fait que les corps hydrogénés peuvent perdre une partie de leur hydrogène et le remplacer, atome pour atome, par du chlore, du brome, de l'iode ou par un demi-atome d'oxygène. Lorsque le chlore se substitue de la sorte à l'hydrogène, les propriétés chimiques, la fonction acide, alcaline ou neutre, les réactions, les dédoublements

et même les propriétés physiques, les formes cristallines, restent sensiblement analogues. La molécule peut donc éprouver des modifications partielles, perdre quelques-uns de ses éléments et admettre à leur place d'autres atomes de valeur égale (« équivalents »), sans être pour cela dénaturée. La substitution fait ainsi dévier l'agrégat à partir d'un type initial et ajoute à sa variabilité. Lorsque, par exemple, dans une molécule d'hydrogène carboné, un atome d'iode vient remplacer un atome d'hydrogène, on a l'iodure de méthyle. Si, ensuite, l'atome d'iode est remplacé par un atome d'hydrogène uni à un atome d'oxygène, on a l'esprit de bois ou alcool méthylique ; etc.



On conçoit qu'avec une chaîne d'atomes de carbone, des séries de substitutions puissent modifier indéfiniment les substances. Les corps qui, par suite d'un rapport d'équivalence, se substituent les uns aux autres dans les combinaisons, obéissent à des lois de proportionnalité. D'après M. Dumas, les équivalents des corps simples appartenant à la même famille naturelle forment une progression arithmétique à la façon des radicaux de la Chimie organique.

Telles sont les principales relations qui unissent les éléments de substance : les corps simples se combinent par couples pour produire des radicaux d'où proviennent des composés aptes à se modifier soit en détail par isomérisation ou substitution, soit en bloc par des combinaisons ultérieures. Suivons leurs dérivés dans cette carrière de complexité croissante.

2. — RELATIONS DES COMPOSÉS VARIABLES

La mutabilité caractéristique des corps composés a pour cause la constitution de leur substance. Formés de molécules agrégées, ils comportent deux ordres de changements relatifs, les uns à la composition des molécules, les autres à leur mode de groupement. Le premier relève de l'étude précédente. Nous avons maintenant à considérer le second dont les effets seraient à scruter d'abord dans la classe des composés définis, puis dans celle des composés indéfinis. Le détail de ces variations est extrêmement étendu ; mais la science n'a pas encore débrouillé la complexité confuse de leurs rapports et nous devons nous contenter sur ce point d'indications très sommaires.

A. — Corrélations des composés définis.

Les composés définis, beaucoup plus nombreux que les éléments, subissent des changements dont l'étendue et la fréquence sont en raison du degré de composition. Nous avons distribué ces corps en deux groupes. Leur aptitude à varier est inégalement restreinte.

a. — Les composés les plus simples, dus à l'association de deux radicaux, peuvent en admettre un troisième ou se combiner entre eux. Ainsi, certains sels se modifient par hydratation ; des sels simples s'unissent pour produire des sels doubles, etc.

b. — Des combinaisons plus complexes s'effectuent entre ces composés divers, sels, acides ou bases, et donnent lieu à des réactions qui s'entrecroisent. Les cas de

double décomposition sont alors fréquents. Lorsqu'un acide réagit sur un sel, ou un sel sur une base, ou un sel sur un autre sel, il arrive souvent que par suite d'un échange d'éléments, de nouveaux composés apparaissent à la place des anciens. Les lois relatives à ces permutations de substance ont été formulées par Berthollet et sont connues sous son nom.

La Chimie comparée serait tenue de déterminer les relations de ce genre entre tous les composés définis susceptibles de se combiner ou de se modifier d'une manière quelconque, afin d'établir l'ordre de leurs variations éventuelles. La science est maintenant assez avancée pour pouvoir reproduire en détail, par voie de synthèse, un très grand nombre de corps, et le moment approche où elle saura reconstituer par des expériences de laboratoire la plupart de ceux qu'a réalisés la genèse minérale ou même en créer méthodiquement de nouveaux. Toutefois, comme ces transformations n'ont pas été coordonnées dans l'ensemble des séries, il est difficile d'assigner une règle à leurs rapports et la pratique se trouve en avance sur la théorie.

B. — Corrélations des composés indéfinis.

Les composés de carbone forment une classe à part où quelques radicaux (carbures d'hydrogène, acide carbonique, ammoniaque et eau), diversement combinés, produisent des séries de corps qui, définis à l'origine, ne tardent pas à devenir indéfinis. Leur analyse et surtout leur synthèse rencontraient des obstacles dont la Chimie organique n'a, jusqu'à présent, surmonté qu'un petit nombre. Au rebours des composés définis qui, associant toutes sortes d'éléments dans des proportions très-simples, étaient aisés à reconnaître et à reproduire, les

composés indéfinis, unissant un très petit nombre d'éléments dans les proportions les plus variables, comprennent une immense quantité de substances dont les mutations sont insaisissables. Dans les agrégats complexes où figurent des multitudes croissantes d'atomes liés par des affinités décroissantes, l'adjonction, l'élimination ou la substitution de l'un d'eux n'établissent pas dans l'ensemble une différence assez tranchée pour qu'on puisse en tenir compte. C'est pourquoi les composés de ce groupe portent le nom d'indéfinis, qualification qui, comme celle de corps simple, doit seulement exprimer l'ignorance de la composition des choses. Nous avons distingué deux groupes de composés indéfinis suivant l'absence ou la présence de l'azote dans les combinaisons de carbone. Leurs conditions de synthèse diffèrent comme leurs degrés de composition.

a. — Les simples composés de carbone, substances en général ternaires, pourraient se définir des hydrates de carbone. C'est parmi les substances de ce genre, d'une complication restreinte, que des synthèses ont pu le mieux être obtenues.

Le point de départ des composés hydrocarbonés est l'acide carbonique, dont les plantes ont le pouvoir d'opérer la réduction. Une partie, perdant de son oxygène, se convertit alors en oxyde de carbone qui, doué d'affinités plus énergiques, se combine avec l'hydrogène de l'eau et produit des acides (formique, oxalique, etc.) très répandus dans les corps vivants. Ces acides, réduits, se transforment en aldéhydes susceptibles, soit de se condenser, soit de produire par déshydratation des substances résineuses (Wurtz, *Chimie biologique*, 1880). Les alcools résultent de la combinaison des carbures d'hydrogène avec les éléments de l'eau; la synthèse des carbures et des alcools donne les aldéhydes comprenant la plupart des huiles essentielles oxygénées, les acides gras et les éthers composés. On peut

considérer les huiles et les graisses, corps composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, comme des sels dont la glycérine serait la base et qui proviendraient de sa combinaison avec divers acides (stéarique, oléique, palmitique, etc.).

Les composés non azotés de carbone, modifiés par l'addition ou le retranchement d'un ou de plusieurs équivalents d'eau, produisent une foule de substances dont les propriétés varient quoique leurs différences de composition soient souvent inappréciables. D'après les hypothèses émises par M. Berthelot, les matières sucrées devraient leur origine à des accumulations successives de molécules de glycose perdant une partie de leur eau. Le sucre de canne se formerait par l'union de deux molécules de glycose avec élimination d'eau; l'amidon, par l'adjonction au sucre de canne d'une molécule de glycose également privée d'une partie de son eau; la cellulose et ses analogues seraient dus aux combinaisons progressives des mêmes éléments associés dans des conditions pareilles, c'est-à-dire toujours avec élimination d'eau... Mais ce ne sont encore là que des inductions théoriques et l'expérience, seule décisive, n'a pas prononcé.

b. — Les composés pour la production desquels les affinités spéciales de l'azote s'ajoutent aux aptitudes connectives du carbone sont les plus complexes et les plus muables de tous. Ils semblent dériver d'une combinaison de l'ammoniaque avec des principes oxygénés ternaires issus des alcools et des carbures d'hydrogène. Les éthers se produiraient par l'association des acides oxygénés d'azote et des alcools; les amides, par celle d'un équivalent d'ammoniaque et de plusieurs équivalents successifs d'acides, d'alcools, etc. La formation de l'albumine s'expliquerait par une synthèse d'acide carbonique, d'ammoniaque, d'eau et de divers sels amenés par une longue suite d'actions chimiques à un degré supérieur de compo-

sition. Mais l'enchaînement des combinaisons intermédiaires n'est pas connu. M. Berthelot suppose que les substances albuminoïdes, végétales ou animales, constituent des amides complexes unis à des principes oxygénés ou acétiques. La dérivation plus lointaine des composés qui constituent les substances musculaire et nerveuse est totalement ignorée. On ne peut même pas émettre de conjectures à cet égard. L'analyse est à peine parvenue à déterminer quelques-uns des principes immédiats qui marquent les termes initiaux de la série. Les relations des corps auxquels ces principes donnent lieu restent enveloppées de l'obscurité la plus profonde.

En ce qui concerne la classe des composés azotés, la science est donc extrêmement bornée. Les chimistes s'avouent actuellement incapables de rendre compte par des formules exactes des changements que la substance subit dans les corps doués de vie et même dans ceux que la vie vient d'abandonner. Les métamorphoses incessantes de la matière organique réalisent sous nos yeux le mythe de l'insaisissable Protée. Dans l'état présent de nos connaissances, il ne serait pas possible de suivre pas à pas les mutations que traversent les aliments dans un organisme animal depuis le moment de leur ingestion jusqu'à l'élimination finale des produits de la désassimilation. Il en est de même du travail de composition qui s'opère dans la substance de l'œuf durant l'incubation et dont le résultat est de transformer avec une rapidité surprenante, sous la seule influence de la chaleur et de l'oxygène de l'air, quelques composés homogènes (albumine, huiles...) en une multitude de composés hétérogènes prêts à prendre les formes variées que leur impose la structure organique. En moins de 21 jours, un œuf de poule dans lequel on ne distingue à première vue que deux éléments, se change en un être composé de sang, d'os, de muscles, de nerfs, de plumes, de viscères et d'organes, foyer des actions les plus complexes. Rien n'est mieux fait

pour provoquer les méditations du penseur et montrer les courtes limites de notre science, que les deux genèses chimique et plastique accomplies pendant cette évolution si rapide. Quant à dévoiler le mystère des compositions et des décompositions qui s'opèrent incessamment dans la substance nerveuse; quant à dire quelles modifications résultent d'une sensation perçue, d'une idée conçue, d'une incitation de la volonté, cela semble dépasser notre compétence. Les problèmes de ce genre, dont la solution serait nécessaire pour compléter la théorie des combinaisons et pour instituer une étude rationnelle soit des formes, soit des fonctions, ne peuvent encore être ni résolus, ni même abordés.

Les composés non azotés de carbone et les composés azotés sont liés par un étroit rapport et les seconds, qui dominent chez les animaux, se superposent en quelque sorte aux premiers, qui prévalent chez les plantes. Les substances organiques commencent leur évolution dans un règne et l'achèvent dans l'autre. Les animaux empruntent les composés protéiques aux végétaux, seuls capables d'en effectuer la synthèse, les compliquent par degrés, puis les brûlent, les décomposent et les ramènent à une condition élémentaire. A un point de vue général, les plantes sont surtout des appareils de réduction et les animaux des appareils de combustion. Gerhardt a montré qu'on pouvait disposer les composés indéfinis sur une échelle dite « de combustion » où les degrés sont marqués par des quantités croissantes de carbone et d'hydrogène: « Les extrémités de cette échelle sont occupées d'une part, au sommet, par la matière cérébrale, l'albumine, la fibrine et les autres substances les plus complexes, et, d'autre part, au pied, par l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque... Une infinité d'échelons occupent l'intervalle... Le chimiste, en appliquant les réactifs de combustion aux substances placées dans les échelons supérieurs, des-

ceci l'échelle, c'est-à-dire qu'il simplifie peu à peu ces substances en brûlant une partie de leur carbone et de leur hydrogène. » (*Précis de Chimie organique*, 1844, t. I, p. 21.) Mais il est moins difficile de descendre cette échelle que de la gravir et la variabilité des composés supérieurs dérouta la synthèse plus encore que l'analyse.

Les substances indéfinies, en raison de leur nature complexe et de leur mutabilité sans terme, étaient les plus malaisées à reproduire et la science a conçu très tard l'ambitieux projet d'opérer ces combinaisons dont la genèse paraissait être le privilège exclusif de la vie. Toutefois, quoique ces composés ne se rencontrent que dans les organismes, leur production n'est point due à des lois particulières dont l'application exigerait le concours de la force vitale. Il n'est besoin que d'appareils où les réactions les plus délicates puissent s'accomplir à l'abri de l'influence perturbatrice des milieux ambiants. Les organes, et principalement les cellules, constituent des alambics d'une construction parfaite qui admettent certaines substances, en retiennent d'autres et favorisent dans des conditions déterminées les combinaisons entre des quantités strictement dosées d'éléments sans avoir à redouter les affinités trop énergiques de l'atmosphère ou des eaux. Les êtres organisés représentent donc des appareils d'isolement où le travail des agents chimiques s'effectue comme en vase clos de telle sorte que les composés les moins stables peuvent s'y produire et s'y conserver, au moins passagèrement. La difficulté de grouper dans de justes proportions les éléments nécessaires, de les faire réagir séparément les uns sur les autres, de graduer le jeu des forces physiques et de suivre pas à pas l'ordre hiérarchique des combinaisons, est l'obstacle qui arrête dans cette voie les tentatives de synthèse. Pour réussir à le surmonter, il faudrait une sûreté de méthode, une précision, une délicatesse infinies, et nous ne savons que renverser par des analyses brutales ces fragiles échafaudages. Nous

connaissions l'art de détruire, nous ignorons celui d'édifier. Quand des notions moins bornées et des artifices plus ingénieux nous auront donné le moyen d'imiter les procédés de la nature, nous arriverons sans doute à rivaliser avec elle et peut-être un jour à la dépasser.

Déjà la science a remporté des triomphes signalés. La synthèse des composés élémentaires de carbone rend possible celle de tous leurs dérivés. Les expériences de laboratoire vont des carbures d'hydrogène aux composés oxygénés, alcools, aldéhydes, acides; puis, en leur associant l'ammoniaque, à des composés azotés, amides et alcalis. On évaluait à 10,000, en 1875, le nombre des composés de carbone qu'on est parvenu à reproduire. C'est bien peu, sans doute, dans une classe où les composés, connus ou éventuels, se compteraient par millions. Néanmoins, c'est beaucoup si l'on réfléchit à la date récente des essais et aux difficultés d'une tâche réputée longtemps impraticable. La méthode est constituée, un point de départ acquis. On tient le bout de la chaîne; les anneaux seront appelés l'un après l'autre, si longue qu'en soit la série. Les succès obtenus en peu d'années sont si importants, si pleins de promesses, que la production des composés supérieurs ne paraît plus être qu'une question de temps. On sait créer par des procédés chimiques les couleurs de la garance (alizarine et purpurine), l'indigo, le parfum de la vanille et de divers fruits, etc. On entrevoit la synthèse prochaine des gommés, des sucres, des huiles, des alcaloïdes et d'autres principes d'une fixité relative. Après les hydrates de carbone viendront les substances azotées. Les matières albuminoïdes résistent encore; mais on est sur la voie qui conduit à leur genèse. Notre ignorance seule pose ici des bornes à notre pouvoir et les progrès de la science autorisent les plus hautes espérances (V. Berthelot, *Synthèse chimique*, p. 23, 25 et 268). Claude Bernard ne met point en doute qu'on ne puisse arriver un jour à reproduire de toutes

pièces les substances les plus complexes : « Il paraît, dit-il, évident, que les progrès de la Chimie organique devront amener à imiter artificiellement tous les produits des organismes vivants. » (*Physiologie générale*, p. 191.) Si jamais la science découvre le moyen d'obtenir directement et à bas prix les fécules, les sucres, la fibrine, l'albumine et les autres composés nécessaires à l'alimentation générale, la condition de l'homme sera transformée. Affranchi de ce que sa tâche a de plus pénible et sa dépendance de plus assujettissant, il pourrait alors, au gré de ses besoins, puiser dans l'inépuisable réservoir du monde inorganique les éléments de subsistance que, jusqu'à présent, il a dû emprunter à la création végétale ou animale, au prix de combien de labeurs, de privations et de périls ! Ce rêve, qui actuellement semble chimérique, sera peut-être, dans quelques siècles, une vivante réalité.

Enfin, les composés définis et les composés indéfinis ne sont pas aussi séparés dans la nature que porterait à le supposer la division généralement admise de la science en Chimie minérale et en Chimie organique. Ce ne sont point là deux ordres essentiellement distincts de substances, mais deux cycles de combinaisons en partie communs et liés par une relation comparable à celle qui, en Dynamique, unit les mouvements directs et les mouvements circulaires. Il est aisé de constater dans le détail de ces séries des entrecroisements multipliés et, dans l'ensemble, un rapport de dérivation.

L'action d'une multitude de substances minérales employées comme amendement pour les plantes, comme poisons pour les animaux ou comme médicaments pour l'homme, établit entre les deux classes de composés des corrélations dont la théorie est encore obscure. — Les radicaux métalliques composés sont un exemple caractéristique des rapports susceptibles de s'établir entre les substances définies ou minérales et les substances indé-

finies ou organiques. On sait que beaucoup de métaux (arsenic [cacodyle], antimoine, étain, plomb, mercure, bismuth, potassium, etc.,) forment, avec des éléments hydrocarbonés, un groupe de radicaux complexes, capables de jouer le rôle d'éléments dans des séries de combinaisons d'où résultent des oxydes, des acides, des sels, etc.

Une relation générale ressort du fait que les composés indéfinis continuent les composés définis, leur empruntent des éléments, et, en fin de compte, leur en restituent l'équivalent. Par suite de synthèses successives et d'analyses récurrentes, la substance s'élève et s'abaisse tour à tour de l'un à l'autre niveau de composition comme par un balancement de marée. Des composés de la première série (sels, principes immédiats...) aboutissent, par voie de complication moléculaire, à la formation de composés de la seconde; d'autre part, ceux-ci, naturellement instables, tendent à revenir, par voie de décomposition moléculaire, à une condition plus fixe. Le rapport qui unit les deux classes de substances consiste donc en une alternance de composition qui fait passer les corps de l'état défini à l'état indéfini, et qui ensuite, par une évolution inverse, les ramène de l'état indéfini à l'état défini, *circulus æterni motus*.

C'est sur l'opposition de ces phases que se fonde la distinction, établie par Graham, entre l'état cristalloïdal ou soluble et l'état colloïdal ou insoluble, distinction applicable à la totalité des corps composés et propre à séparer, dans ce qu'ils ont d'essentiel au point de vue chimique, les deux mondes de l'inorganisation et de la vie. La principale différence entre les conditions des deux sortes de substances paraît tenir à ce que les cristalloïdes sont des agrégats relativement stables de molécules élémentaires, au lieu que les colloïdes, résultant de l'assemblage de molécules composées, ont un équilibre précaire. Mais ces deux états, loin d'être isolés et inconciliables, sont corrélatifs et solidaires. La synthèse initiale des composés cris-

talloïdes en composés colloïdes s'opère exclusivement dans les plantes, seuls organismes aptes à vivre d'éléments bruts (acide carbonique, eau et sels). Les animaux, qui amènent ensuite les substances colloïdes à un degré supérieur de composition, les brûlent et les décomposent en agissant. Incapables de subsister, comme les plantes, d'aliments inorganiques, ils doivent se nourrir de substances végétales déjà parvenues à un certain degré de complication. Mais ce n'est là qu'une indication sommaire, et dans le détail des faits, la plupart des rapports restent indéterminés. Il faudrait établir comment les cristalloïdes passent du sol dans les plantes et des plantes dans les animaux; dire sous quelles formes et par suite de quelles combinaisons sont assimilés les composés de chaux, de silice, de phosphore, de soufre, de fer, de potasse, de soude, etc., qui entrent dans les organismes; enfin suivre chacune de ces substances dans les réactions qu'elle y subit.

Les corps vivants ne sont point, comme pourraient le faire croire les termes de « Chimie organique » et de « Chimie biologique », construits en totalité avec des substances très complexes; ils admettent une très forte proportion de substances inorganiques indispensables à la constitution et aux transformations des précédentes. Cette corrélation est rendue manifeste par les deux classes entre lesquelles M. Robin répartit les principes immédiats reconnus par l'analyse dans les êtres organisés. La première comprend les corps cristallisables ou volatils d'origine soit minérale (eau, sels, etc.), qui entrent dans l'organisme et en sortent sans se décomposer; soit organique (acides tartrique, lactique, etc; alcaloïdes, corps gras, sucres, etc.), qui se composent dans l'organisme, mais ne s'y décomposent pas. La seconde comprend les corps coagulables qui se forment dans l'organisme et s'y décomposent pour donner naissance à des principes plus complexes (cellulose, amidon, dextrine, gomme, caséine, albumine, fibrine, musculine, hématine, etc.). La subs-

tance organique résulte de l'union intime de ces deux groupes qui se modifient l'un l'autre sous de minimes influences. Tous ces éléments, dissous ou dilués dans l'un d'eux, l'eau, excipient universel qui, en poids, est le corps le plus important des organismes, donnent lieu à des réactions sans nombre dont l'enchaînement caractérise la vie. La matière brute, entraînée dans un courant de métamorphoses chimiques, commence à se compliquer dans les plantes, achève son évolution dans les animaux, puis, décomposée par eux, est restituée au milieu inorganique sous forme d'eau, d'acide carbonique, d'ammoniaque et de sels. Les forces tour à tour engagées et dégagées dans ces alternances de composition et de décomposition constituent le principe de l'activité vitale.

Ainsi tombent les barrières élevées entre la Chimie inorganique et la Chimie organique. La différence qui les divise correspond à celle qui, dans un arbre, distingue le tronc et les branches. Une même sève les nourrit et leur vient des racines, qui en puisent les matériaux dans le sol, c'est-à-dire dans le fonds des substances élémentaires.

CONCLUSION

Pour établir l'ordre des rapports de combinaison, du plus bas au plus haut degré de complexité, il resterait à examiner le lien qui unit les éléments et les composés. Comme entre pays limitrophes, leurs relations s'effectuent par une commune frontière incessamment traversée. Les composés variables résultent, non de l'association directe d'éléments irréductibles, mais de celle des radicaux et ils reproduisent souvent ces derniers quand ils se décomposent. Cette connexion, mise en lumière par des analyses et des synthèses sans nombre dans la classe des composés définis, est aussi réelle, quoique moins apparente, dans celle des composés indéfinis.

Les matières dites organiques ne sont jamais le produit immédiat d'une combinaison entre trois ou quatre éléments irréductibles portés sans transition de l'état le plus simple à un état supérieur de composition; elles résultent d'une suite de complications progressives. On pourrait mêler dans les proportions requises et soumettre aux influences les plus diverses l'hydrogène, le carbone, l'oxygène et l'azote sans jamais rien obtenir d'analogue aux composés que nous offrent les plantes et les animaux. Il ne serait même pas possible de franchir le degré qui sépare les corps simples des composés les moins complexes sans traverser le stade intermédiaire des radicaux. Ainsi le carbone, élément principal de la substance des végétaux et que, pour cette cause, on appelle « phytogène », n'existe pas chez eux à l'état de pureté et ne serait pas assimilable sous forme de charbon. Le point de départ des transformations que lui fait subir la Chimie végétale est l'acide carbonique. Les carbures d'hydrogène que produisent les plantes et qui entrent pour une part si considérable dans leur structure proviennent d'une double décomposition de l'acide carbonique qui, converti en oxyde de carbone, cède son carbone et de l'eau qui cède son hydrogène, l'oxygène se trouvant dégagé des deux parts. Ce phénomène s'accomplit sous l'influence de la lumière, au moyen des granulations chlorophylliennes. Lorsque, ensuite, le carbone se combine avec les éléments de l'eau associés dans leur proportion normale, il donne lieu à la production d'hydrates (sucres, gommés, amidon, cellulose, etc.).

De même, l'azote, dont l'adjonction constitue les composés les plus élevés de la série, n'y est pas admis directement et doit être introduit à l'état de combinaison élémentaire. Les animaux, qui vivent de substances azotées et respirent dans une atmosphère dont l'azote forme près des $4/5^{\text{es}}$, sont incapables d'utiliser cet approvisionnement immense et réduits, pour s'en assimiler une faible part, à exploiter les produits où les plantes ont préalable-

ment engagé cet élément. L'appropriation de l'azote de l'air par les végétaux eux-mêmes a longtemps fait question. M. Berthelot a montré récemment que des effluves d'une intensité comparable à celle des courants qui se produisent entre l'air et le sol, par l'effet de l'électricité ambiante, modifient assez ce gaz réfractaire pour le disposer à s'unir aux substances organiques; néanmoins, on ne sait pas encore si les plantes le combinent en cet état dans leurs tissus ou si elles l'absorbent après sa combinaison avec les composés carbonés du sol. C'est sous forme d'ammoniaque que les végétaux s'incorporent et restituent généralement l'azote.

Ainsi, pour faire entrer le carbone, l'hydrogène et l'azote dans le cycle des combinaisons organiques, les plantes doivent décomposer l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque, ce qui est un travail de réduction. Les animaux, au contraire, brûlent en les oxydant les composés supérieurs issus des substances végétales et les ramènent à l'état d'ammoniaque, d'eau et d'acide carbonique. L'oxygène qui, grâce à ses affinités énergiques et variées, joue un si grand rôle dans ces opérations récurrentes, est puisé par la respiration dans l'océan aérien et son absorption, la plus constante des fonctions chimiques chez les êtres organisés, constitue l'acte vital par excellence. Néanmoins, on peut douter que la fixation de l'oxygène se produise directement dans les composés les plus complexes et le travail de combustion s'effectue probablement, comme celui de réduction, par une suite de modifications progressives. La décomposition des substances organiques ne les ramène jamais tout d'un coup (sauf dans nos analyses brutales, par l'effet de forces violentes) à l'état d'éléments irréductibles. Les mutations s'accomplissent dans la nature par dédoublements successifs, retranchements ou altérations de molécules, et les composés redescendent, degré par degré, la hauteur qu'ils avaient gravie degré par degré. Mais les deux échelles ne se correspondent pas

et c'est pourquoi les substances indéfinies parcourent une courbe au lieu de revenir sur elles-mêmes en ligne droite.

Au terme des recherches de la Chimie comparée, la pensée embrasse, dans chaque série, l'ordre entier des combinaisons. Du fonds, pour nous immuable, des éléments irréductibles, sortent d'abord des éléments composés. Ceux-ci, se combinant ensuite à leur tour, produisent, selon leur nature, d'une part, les composés définis, de l'autre, les composés indéfinis. Des entrecroisements s'opèrent à tous les degrés et l'éternelle substance, proménée à travers des combinaisons dont la complexité croît et décroît tour-à-tour, manifeste dans les conditions les plus diverses ses propriétés et son énergie.

II. — CHIMIE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE COMPOSITION

THÉORIE DES CORRÉLATIONS D'ENSEMBLE

A l'étude des rapports de composition doit succéder celle des lois de composition. Ce ne serait point assez, en effet, d'avoir rattaché les unes aux autres par séries toutes les substances déterminées en détail par l'analyse et même d'être en état de les reproduire au moyen de la synthèse; pour savoir l'ordre des séries, il faut embrasser l'ensemble de leurs rapports et en exprimer l'unité par une formule simple. Le problème de la Chimie comparée se borne à établir par expérience la suite des combinaisons dont une substance est le produit et de celles où elle est apte à figurer. Autre est le problème de la Chimie générale. Il consisterait à exposer la manière constante dont agit l'affinité dans toutes les occurrences et à faire dériver d'une seule cause l'infinie multiplicité des combinaisons. Le travail d'unification qui, en Dynamique, conduit à expliquer par une loi de gravitation l'ordre de collocation des masses, et qui, en Physique, s'efforce d'interpréter les modalités par des corrélations d'actions moléculaires, serait à poursuivre en Chimie. Cette science est aussi tenue de démontrer que tous les phénomènes de composition résultent d'une force unique, variée dans ses applications, mais conséquente dans ses effets. Lavoisier avait une conception très nette du but auquel la Chimie générale doit tendre quand il écrivait: « La science des affinités est à la chimie ordinaire ce que la géométrie

transcendante est à la géométrie élémentaire (*Traité élémentaire de Chimie*, 1793, *Discours préliminaire* p. XIV). Pour compléter le programme de la science, il y aurait à instituer l'algèbre de la Chimie.

Toutefois la notion d'un ordre général est ici plus difficile à acquérir que dans les sciences qui précèdent et, quand on réfléchit à la date relativement récente où s'est établie la théorie de la gravitation; quand on considère combien est encore imparfaite celle de l'unité des forces physiques, on ne doit pas s'étonner que la théorie de l'affinité soit à peine ébauchée. L'extrême simplicité des faits dynamiques et leur développement en série continue rendaient une systématisation aisée. Aussi la loi de la gravitation a-t-elle été découverte la première. Les modes de l'action physique se laissent encore, sans trop de peine, concevoir comme les résultantes de conditions assignables d'équilibre ou de mouvement, et l'on entrevoit, dans un avenir prochain, la réduction à l'unité de cause des diverses sortes de modalités. La Chimie est arrêtée, dans sa tâche finale, par de plus grands obstacles. Il lui faut spéculer, non plus sur des molécules homogènes dont les positions respectives ne comportent qu'un nombre limité de relations dynamiques auxquelles correspondent les séries d'effets, mais sur les combinaisons d'atomes hétérogènes susceptibles de se grouper d'une foule de façons. Si grandes sont la diversité des éléments, la multiplicité de leurs modes d'assemblage et la dissemblance des produits, que toute apparence d'ordre s'évanouit dans l'ensemble et l'idée de règle se dérobe sous des transmutations sans fin. L'action de l'affinité, particulière et discontinue, semble ne connaître d'autre loi qu'une perpétuelle variabilité. La science est donc obligée de coordonner des faits dont les différences seules sont visibles et de montrer comment les substances, à travers leurs confuses métamorphoses, obéissent à des lois fixes, qu'elles se compliquent ou se simplifient. Les difficultés d'une pa-

reille entreprise sont faites pour effrayer; néanmoins le problème se pose et la Chimie devra le résoudre sous peine de rester inachevée.

On est parvenu à dégager et à mettre en lumière quelques-unes des lois qui président aux conditions principales des faits de combinaison. — La « loi des poids, » due à Lavoisier, établit une invariable égalité entre le poids des composés et la somme des poids de leurs composants. Tous les phénomènes chimiques s'accomplissent donc au sein de la substance pondérable, avec ses éléments et sans les dénaturer, ce qui relie la Chimie à la Dynamique. — D'après la « loi des proportions définies, » signalée par Proust, chaque combinaison s'effectue entre des quantités fixes de substance. Cette loi paraît au premier abord moins générale que la précédente, car on ne la constate ni dans les alliages que produit l'association des métaux, ni dans les composés indéfinis de carbone; mais, d'une part, les alliages constituent moins une combinaison véritable qu'un fait de diffusion ou de cohésion; de l'autre, l'indétermination des substances organiques tient à leur complication et à leur mutabilité que nos analyses sont impuissantes à saisir avec précision. Si, pour ces molécules complexes prises à un moment donné, les comptes d'atomes pouvaient être rigoureusement établis, on les verrait sans nul doute rentrer dans la loi des proportions définies. — La « loi des proportions multiples, » formulée par Dalton, est l'expression de ce fait général que, lorsque deux corps se combinent en diverses proportions, les poids variables de l'un qui s'unissent à un poids constant de l'autre sont entre eux comme des nombres entiers. Cette loi est une conséquence de la précédente et s'explique de même par la théorie des atomes. Si, en effet, on suppose que les moindres quantités de substance admises dans une combinaison sont égales et constantes, les proportions fixes seront toujours définies puisqu'elles correspondent à des nombres donnés d'atomes et les proportions variables exprimeront des mul-

tiples de ces nombres. — La « loi des nombres proportionnels » détermine un rapport entre les poids de deux corps susceptibles de s'unir à une même quantité d'un troisième et les poids proportionnellement auxquels ces deux corps s'unissent, soit entre eux, soit aux autres corps, ou les multiples de ces poids par des nombres simples. — En vertu de la « loi des volumes, » signalée par Gay-Lussac, les poids de volumes égaux de divers gaz sont proportionnels à leurs équivalents ou à un multiple simple de ces équivalents. — Enfin, la loi dite « d'Avogadro » ou « d'Ampère » assigne le même nombre de molécules aux volumes égaux de différents gaz soumis à la même pression. — Ces diverses formules se déduisent les unes des autres et sont logiquement contenues dans celle des proportions définies.

Quoique ces lois aient des conséquences très étendues, elles ne constituent pas encore la loi générale des actions chimiques, mais seulement son préliminaire, et font connaître la condition plutôt que la cause des phénomènes. Il reste donc à formuler une loi suprême qui, étant l'expression même des énergies de l'affinité, rende compte des modifications de la substance à tous les degrés de composition. Comme la science est réduite sur ce point à des conjectures, notre tâche se borne à pressentir par induction ce que devrait être cette loi.

Quand on embrasse par la pensée l'ensemble des phénomènes chimiques, on voit que chaque substance possède un pouvoir de combinaison qui varie de l'une à l'autre selon la nature des corps et leur degré de composition. Ce pouvoir, à son maximum dans les éléments irréductibles, se dépense peu à peu dans les combinaisons successives de leurs dérivés et les composés en retiennent d'autant moins qu'ils se compliquent davantage. L'affinité, considérée de la sorte dans la généralité de ses effets, représente donc une capacité de saturation dont il faudrait suivre la décroissance graduelle à travers les séries de combinaisons.

CHIMIE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE COMPOSITION

<p>a. Atomocité des métaux.</p>	<p>b. Atomocité des métalloïdes.</p>	<p>a. Atomocité des radicaux primaires.</p>	<p>b. Atomocité des radi aux secondaires.</p>
<p>A. ATOMICITÉ PRIMAIRE OU DES ÉLÉMENTS IRRÉDUCTIBLES.</p>		<p>B. ATOMICITÉ SECONDAIRE OU DES ÉLÉMENTS RÉDUCTIBLES.</p>	
<p>1. LOI D'ATOMICITÉ DES ÉLÉMENTS DE SUBSTANCE.</p>		<p>2. LOI DE MOLÉCULARITÉ DES COMPOSÉS COMPLEXES.</p>	
<p>a. Molécularité des composés définis primaires.</p>		<p>b. Molécularité des composés définis secondaires.</p>	
<p>a. Molécularité des composés non azotés de carbone.</p>		<p>b. Molécularité des composés azotés de carbone.</p>	
<p>B. MOLÉCULARITÉ SECONDAIRE OU DES COMPOSÉS INDÉFINIS.</p>		<p>A. MOLÉCULARITÉ PRIMAIRE OU DES COMPOSÉS DÉFINIS.</p>	

LOI GÉNÉRALE DE L'AFFINITÉ. NOMENCLATURE.

Les applications de ce principe aux modes de l'action chimique seraient à étudier, premièrement dans l'ordre des substances élémentaires où la simplicité des phénomènes laisse plus aisément surprendre la loi, puis dans celui des substances composées où leur complexité la rend plus difficile à découvrir.

1. — LOI DES COMBINAISONS ÉLÉMENTAIRES. ATOMICITÉ

Il importe de constater d'abord le pouvoir de combinaison qui réside dans les éléments de substance et dont leurs groupements les plus simples sont l'effet. C'est à ce résultat que vise la théorie de l'« atomicité ». On appelle ainsi « l'équivalence des atomes, leur valeur de combinaison ou de substitution » (Wurtz, *Philosophie chimique*, p. 154). Il faut éviter de confondre l'affinité et l'atomicité. La première désigne la force de combinaison qui détermine le sens ou l'intensité des actions chimiques et dont l'énergie se mesure par les effets thermiques en rapport avec les réactions; la seconde règle la forme des combinaisons; elle exprime la valence des atomes, leur capacité de saturation. Chaque substance a sa valeur propre. Comme, pour les comparer, une unité serait nécessaire, on a cherché à reconnaître le corps dont les atomicités pourraient le mieux servir d'étalon commun. On pense l'avoir trouvé dans l'hydrogène. Ses atomes, légers et mobiles, aisément attirés ou éliminés, jouent un rôle important dans des séries de constructions et de démolitions moléculaires. En outre, cet élément présente, au point de vue de l'appréciation des poids, des facilités particulières, puisque la loi de Proust, complétée par M. Dumas, permet de regarder les poids atomiques de tous les corps simples comme les multiples d'un même nombre qui serait la moitié ou le quart du poids de l'atome d'hydrogène. On a, en conséquence, été amené à

prendre pour fait typique, en matière de combinaisons, l'entrée ou la sortie des atomes d'hydrogène. Cette donnée forme la base de la théorie atomique qui se propose d'établir combien les atomes des divers corps peuvent fixer ou remplacer d'atomes d'hydrogène dans les combinaisons. Voyons comment la théorie s'applique aux deux sortes d'éléments que nous avons distingués.

A. — Atomicité des éléments irréductibles.

La capacité de saturation des corps simples, comparée au pouvoir de combinaison de l'hydrogène, les a fait classer en 1° monoatomiques ou univalents, qui se combinent avec un atome d'hydrogène; 2° diatomiques, ou bivalents, qui équivalent à deux; 3°, triatomiques ou trivalents, qui en fixent trois; 4° tétratomiques ou quadrivalents, capables d'en saturer quatre; 5° pentatomiques, cinq; 6° hexatomiques, six. On peut ainsi représenter chaque atome comme ayant autant de points d'attache qu'il possède d'atomicités. Les relations générales des atomes dans les combinaisons se traduisent alors par les signes X', X'', X''', X^{iv}, X^v, X^{vi}, qu'on rend plus explicites encore en les figurant ainsi : N—, —N—, $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array}$, $\begin{array}{c} | \\ -\text{N}- \\ | \end{array}$, $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array}$, $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array}$. Les rapports qu'implique la théorie de l'atomicité sont à déterminer dans les deux classes des métaux et des métalloïdes.

a. — Considérés quant à leur pouvoir atomique, les métaux se répartissent par groupes distincts suivant qu'ils se combinent avec un, deux, trois, quatre, cinq ou six atomes d'hydrogène ou leurs équivalents. Les composants de chaque groupe, c'est-à-dire les métaux de même atomicité, offrent en général plus d'analogie au point de vue chimique que ne le font ceux des classes instituées par

Thénard; cependant le résultat n'est pas satisfaisant de tous points, et la théorie se heurte à des irrégularités dont elle n'a pas encore trouvé l'explication.

b. — L'atomicité s'adapte mieux au classement des métalloïdes, tel que l'a établi M. Dumas, et qui distribue ces corps par familles naturelles. Toutefois, la place de quelques éléments est malaisée à fixer parce qu'ils manifestent à l'occasion des pouvoirs différents. Ainsi, l'azote, regardé comme triatomique, l'est en effet dans l'ammoniaque, AzH^3 ; mais il se montre monoatomique dans le protoxyde d'azote, Az^2O ; diatomique dans le bioxyde d'azote AzO ; tétratomique dans le gaz hypoazotique, Az^2O^4 ; et pentaatomique dans le chlorhydrate d'ammoniaque, AzH^4Cl . (Berthelot, *Synthèse chimique*, p. 163.) M. Frankland a expliqué ces anomalies par des autosaturations partielles qui rendraient latentes un certain nombre d'atomicités. Lorsque, par exemple, deux des atomicités de l'azote saturent deux autres de ses atomicités, une seule reste disponible et sa condition monoatomique pourrait être figurée de la sorte : $\begin{array}{c} \nabla \\ \text{Az} \\ \Delta \end{array}$. Si deux atomicités seulement se neutralisent l'une l'autre, l'atome en conserve trois pour des combinaisons éventuelles et devient triatomique comme dans la formule suivante $\begin{array}{c} \nabla \\ \text{Az} \\ | \\ \Delta \end{array}$. Néanmoins, des singularités de ce genre se concilient assez mal avec la théorie proposée, et la science réclame un supplément de lumière.

Une même loi d'atomicité, étendue à tous les éléments irréductibles, devrait donc permettre d'évaluer leur pouvoir de combinaison et fournir ainsi un principe de classification rationnelle. Mais, si le principe est posé dans sa généralité, il rencontre dans le détail des difficultés

d'application et laisse subsister des lacunes qui tiennent à ce que l'hydrogène, pris pour étalon, refuse de s'unir directement à près de trois quarts des corps simples et ne leur est comparable que par l'intermédiaire d'équivalents.

B. — *Atomicité des éléments réductibles.*

Après avoir assigné la mesure du pouvoir de combinaison des corps simples, la théorie de l'atomicité aurait à spécifier celle des radicaux et à déterminer leur valence respective. Toutefois, la capacité que possèdent ces éléments dérivés n'est plus aussi simple. Elle résulte d'une condition de corps dont les atomicités primordiales sont en partie satisfaites, en partie libres et expectantes. Les radicaux constituent des groupes incomplètement saturés qui tendent à de nouvelles combinaisons où ils trouvent l'emploi d'un excédant d'atomicités réunies. Leur puissance exprime donc une atomicité composée apte à produire des groupements complexes. Ce mode de l'action chimique porte aussi le nom d'atomicité, justifié par cette considération qu'il s'agit encore de molécules élémentaires. Cependant, comme les conditions diffèrent, il conviendrait alors de distinguer deux sortes d'atomicités, l'une primaire, propre aux atomes isolés, l'autre secondaire, qui appartient aux atomes conjugués. La mesure de la seconde est également donnée en atomes d'hydrogène; mais la distinction serait plus nette si l'on pouvait ramener la valeur des radicaux à celle d'un radical type. La substance la mieux indiquée pour remplir ce rôle serait, semble-t-il, l'eau, composé d'hydrogène qui s'allie à un très grand nombre d'éléments réductibles sous forme d'hydrates et dont les relations importent le plus à connaître pour établir la loi de dérivation des composés soit définis, soit indéfinis, dont elle forme le

lien. Aucune classification des radicaux n'a encore été essayée d'après ce principe.

a. — Il faudrait comparer d'abord le pouvoir de combinaison des radicaux de la première série, oxydes, acides, selshaloïdes, sulfures, etc. On constate bien parmi eux des inégalités de valeur; ainsi les oxydes sont dits polyacides (monoacide, biacide, triacide...) quand ils sont saturés par une, deux, trois... molécules d'acide; de même, les acides sont polybasiques (monobasique, bibasique, tribasique...) quand ils sont saturés par un, deux, trois... équivalents d'une base; mais la théorie générale de ces relations n'est pas encore établie.

b. — Un travail semblable devrait ensuite être accompli sur les radicaux dont le carbone et l'azote sont les éléments caractéristiques. Le rapport de ces substances avec l'eau ressort de leur propension si marquée à former des hydrates. On n'a pas, jusqu'ici, étudié sous cet aspect la relation des pouvoirs atomiques. Il y aurait là, croyons-nous, d'intéressants problèmes à résoudre.

Enfin, l'atomicité simple des éléments irréductibles et l'atomicité composée des éléments irréductibles, une fois évaluées séparément, devraient être reliées par une formule qui les résumerait l'une et l'autre. Les deux modes élémentaires de l'action chimique sont en effet connexes et la mesure du second dérive de la même loi que celle du premier, puisqu'elle se borne à déterminer dans le radical son excédant disponible.

2. — LOI DES COMBINAISONS COMPLEXES. MOLÉCULARITÉ

Des relations analogues, mais d'ordre supérieur, unissent les substances composées. Par une extension abusive

de sens qui expose à des confusions d'idées, l'école atomique appelle encore atomicité la puissance de combinaison propre aux molécules complexes et qui les dispose à s'associer. Ce terme est pourtant ici d'une impropriété manifeste, puisqu'il se réfère à des agrégats parfois considérables et non plus à des atomes isolés ou à des couples d'atomes. Quoique le pouvoir dont les molécules sont douées leur vienne des éléments qui les constituent, il se trouve sensiblement modifié par l'effet de leur assemblage et devrait, en raison des conditions spéciales où il s'exerce, être désigné par un terme particulier. Comme on donne le nom d'atomicité à la valeur des éléments, il serait peut-être rationnel d'appeler « molécularité » la capacité de saturation des molécules composées.

La molécularité continue l'atomicité et la complète. Elle régit les collections d'atomes et représente une résultante complexe dont la formule est très difficile à établir. En matière d'éléments, les relations d'équivalence, directes et constantes, sont mises en lumière par toutes les analyses; les substances composées, au contraire, ont des rapports aussi étendus que variables et des équivalents incertains. Le problème se complique d'entrecroisements d'effets, de substitutions, d'éliminations, de doubles décompositions. Néanmoins, une théorie des valeurs moléculaires devra quelque jour être tentée, car il serait impossible sans cela d'assigner une loi générale de production aux composés soit définis, soit indéfinis.

A. — Molécularité des composés définis.

Lorsque les molécules élémentaires des radicaux s'unissent pour former des molécules composées, elles n'épuisent pas encore leur force de combinaison. Les nouveaux groupes conservent un reste de puissance qui suffit à les engager dans des combinaisons ultérieures.

Pour les composés définis, l'aptitude à se combiner est restreinte et arrive assez vite à son terme, parce que les atomes associés sont bornés en nombre, en pouvoir et en modes de groupement. La molécularité de ces corps a donc une valeur finie. Cependant, on ne la connaît point encore. Il y aurait à fixer ce que les molécules initiales possèdent de capacité chimique et ce qu'elles en perdent à chaque combinaison. Ces données, une fois acquises pour les diverses sortes de substances, seraient à exprimer par une même formule. On n'a point, jusqu'à présent, su discerner de composé type qui puisse servir aux autres d'étalon. Il faudrait sans doute le chercher parmi les hydrates doués des affinités les plus variées. Tant qu'une classification rationnelle n'aura pas montré l'ordre hiérarchique des combinaisons, le problème ne pourra guère être clairement posé.

a. — La théorie de la valeur des molécules devrait assigner une loi précise, d'abord à la formation des composés primaires (hydrates, sels simples....);

b. — Ensuite à celle des composés secondaires (sels hydratés, sels doubles....);

Enfin, établir leur accord. Mais nous ne pouvons qu'indiquer le problème. Quoique les corrélations des acides et des bases soient assez bien connues, on n'entrevoit pas actuellement le moyen d'arriver à une solution d'ensemble.

B. — Molécularité des composés indéfinis.

La tâche la plus ardue de la Chimie générale consisterait à établir comment les composés de carbone obéissent à des lois pareilles dans des conditions plus complexes.

Les molécules de ces corps, associant des nombres indéterminés d'éléments, n'expriment plus un compte arrêté d'atomes, un *quantum* fixe de puissance; elles représentent une résultante variable d'atomicités partielles dont la somme indique un pouvoir extrêmement atténué qui se résout en mutations de détail, en doublements ou dédoublements accomplis sous des influences presque inappréciables. L'établissement d'une loi de série exigerait d'abord la connaissance d'un étalon commun qui pourrait être quelque hydrate de carbone, puis son application systématique à la mesure du pouvoir de combinaison des deux sortes de composés indéfinis.

a. — A peine a-t-on pu surprendre, dans les premiers termes de la classe des composés de carbone, quelques indices d'équivalence. On sait par exemple que, dans le groupe des alcools, l'alcool ordinaire s'unit à une molécule d'acide monobasique pour produire un éther composé. Le glycol s'unit à deux, la glycérine à trois, la mannite à six... En conséquence, on appelle l'alcool monoatomique (le mot atome étant ici pris indûment pour celui de molécule), le glycol biatomique, la glycérine triatomique, la mannite hexatomique... (Wurtz, *Histoire des doctrines chimiques*, p. 180, 195). Mais, dès que la composition s'élève de quelques degrés, les nombres sont incertains et les rapports d'équivalence inconnus.

b. — L'obscurité est plus grande encore pour ce qui concerne les substances azotées. La composition de la protéine est problématique et son pouvoir de combinaison entièrement ignoré comme, à plus forte raison, celui de tous les corps qui dérivent d'elle. Dans ces molécules si complexes, l'action chimique est une variable continue dont les changements de valeur échappent à l'analyse.

Enfin, un rapport commun devrait lier les deux

classes de composés et subordonner à une même loi ceux qui sont définis et ceux qui sont indéfinis. La Chimie organique se rattacherait alors à la Chimie minérale, au lieu d'en être séparée par une sorte d'abîme, et la disparité de leurs développements s'expliquerait par les aptitudes connectives du carbone qui engagent dans une direction spéciale la plus complexe des deux séries. La science devra quelque jour faire logiquement découler d'un même principe de saturation graduelle la production de tout l'ensemble des corps composés.

CONCLUSION. — UNITÉ DE L'ACTION CHIMIQUE.
NOMENCLATURE

Pour achever cette synthèse idéale, il resterait à résumer les deux théories de l'atomicité et de la molécularité dans une formule simple qui seule pourra donner à la Chimie sa loi suprême et son unité. La condition moléculaire est en effet la résultante de la condition atomique et la substance va de l'une à l'autre suivant qu'elle se complique ou se simplifie. L'atomicité contient donc la molécularité en puissance et la molécularité n'est qu'une atomicité composée. Le pouvoir de combinaison des molécules représente l'excédant de celui dont elles sont le produit, la part non encore satisfaite des affinités de leurs éléments. Mais c'est la même force qui s'exerce dans les deux cas et l'évolution chimique traverse sans cesse la barrière conventionnelle par laquelle nous les séparons.

La loi générale des faits de composition devrait être une formule d'atomicité continue régissant l'ordre entier des combinaisons, depuis les plus simples jusqu'aux plus complexes, et propre à mettre en évidence la capacité de saturation à chaque degré. L'atomicité des éléments n'exprime pas toute leur puissance, puisque, ces atomicités satisfaites, il reste dans le produit d'autres atomi-

cités disponibles pour des combinaisons éventuelles ; l'atomicité réelle serait la somme de tous les pouvoirs qui se dépensent dans la suite des combinaisons jusqu'à saturation complète. En chimie, le fait capital est l'atténuation progressive que l'affinité subit à mesure que les composés se compliquent. La force qui réside dans les atomes manifeste son énergie la plus grande dans les composés les plus simples, comme le prouve leur fixité qui, incoercible pour les éléments premiers, est encore difficile à vaincre chez les radicaux. Les éléments cèdent, dans leurs combinaisons initiales, aux affinités les plus puissantes et, une fois enchaînés par elles, persistent sans fin dans le même état. Puis les affinités déjà moindres que conserve leur assemblage décroissent à chaque combinaison nouvelle dans la classe des composés définis et se rapprochent d'un minimum dans celle des composés indéfinis où la force chimique, presque épuisée par la série des combinaisons antérieures, cède aux moindres influences et se prête à de continuelles mutations. Elle n'a plus assez d'énergie pour assurer la permanence de composition des corps, et c'est cette condition qui permet aux actions plastiques ou fonctionnelles d'entrer en jeu.

Ainsi les substances vont, par voie de complication graduelle, d'une stabilité en apparence parfaite à une mobilité sans terme et, tandis qu'au point de départ les éléments irréductibles sont le produit d'affinités si puissantes qu'il ne nous est pas donné de les surmonter, les composés indéfinis résultent d'actions si faibles qu'il ne leur est pas possible de se maintenir. D'un petit nombre d'éléments dont rien n'ébranle la fixité, la genèse chimique fait sortir un nombre immense de composés dont la variabilité va croissant. Le problème de la Chimie générale consisterait à trouver la loi de ces changements, c'est-à-dire à déterminer le pouvoir intégral dont, à l'origine, les atomes sont doués et qu'ils perdent peu à peu dans la suite des combinaisons, jusqu'au point où, presque parvenus à

saturation et désormais incapables de se compliquer davantage, ils ne peuvent plus que se défaire en suivant la pente où leur instabilité les entraîne.

Une même cause doit rendre compte de tous les phénomènes chimiques. Nous appelons cette cause « affinité » ; mais le sens vague ou plutôt symbolique de ce mot n'indique rien de précis et se réfère à une qualité occulte. Pour concevoir clairement le mode d'action de la force, l'esprit aurait besoin de le traduire en de sensibles images et d'interpréter l'affinité à titre de fonction dynamique, c'est-à-dire de la regarder comme une cause d'équilibre ou de mouvement propre aux atomes et aux agrégats d'atomes. La combinaison est l'effet de l'ordre de collocation que prennent les éléments de substance sous l'influence d'une force qui sans doute ne diffère pas essentiellement de celle qui agit sur les molécules dans les masses et sur les masses dans l'univers. Tout porte à supposer que l'action chimique est analogue à l'action physique et se rattache par elle à la gravitation¹. L'affinité fixe les atomes comme la cohésion les molécules, et leur apparente disparité doit simplement provenir de ce que l'une régit des particules homogènes, l'autre des particules hétérogènes. Obligée de coordonner des puissances inégales, la dynamique des atomes produit nécessairement des effets plus divers. Les phénomènes chimiques, ainsi compris, seraient la continuation des phénomènes physiques, comme ceux-ci sont le prolongement des phénomènes dynamiques. L'affinité ou attraction chimique constituerait un cas particulier de l'attraction universelle dont la puissance se ferait sentir, non plus entre masses, à toute distance, non plus entre molécules, à de minimes distances, mais entre atomes et pour ainsi dire au con-

1. Dès 1803, Berthollet faisait de l'assimilation de l'attraction et de l'affinité considérées comme deux manifestations d'une même propriété de la matière, l'idée dominante de son *Essai de Statique chimique*.

tact. La dissemblance d'aspect des effets de ces trois forces, dynamique, physique et chimique, s'expliquerait par l'importance relative des masses en jeu, leurs distances, leurs modes d'action et les résultantes de ces données. Si l'attraction est uniforme et l'affinité élective, c'est que la première dépend exclusivement de la masse, tandis que la seconde dépend aussi de la qualité des atomes ou plutôt de leur puissance de mouvement. Mais la solution du problème, dans les deux cas, se ramène toujours à déterminer des grandeurs, des poids, des volumes, des distances et des vitesses. La découverte des lois de composition exigerait la connaissance précise des quantités de matière et de force engagées dans les phénomènes. Or, ces notions que la Dynamique tire de l'observation directe et que la Physique dégage par expérience ou par induction de l'étude des modalités, la Chimie en est jusqu'ici complètement dépourvue.

Considérons les faits de combinaison comme le résultat d'actions atomiques ou moléculaires qui, tantôt colloquent les éléments de substance dans un ordre fixe, et tantôt les disposent à passer d'un corps dans un autre. Le premier cas réalise un effet de statique chimique, le second un effet de cinétique. La fixité de l'agrégat correspond pour les atomes à un état d'équilibre et sa mutabilité à une condition de mouvement. Les poids atomiques paraissent exercer ici une influence prédominante. MM. Dumas, Meyer et Mendéléef ont signalé les rapports entre cette donnée et les propriétés de densité, de fusibilité, de volatilité, de conductibilité thermique ou électrique, etc. Le dernier chimiste a fait voir que ces propriétés étaient fonction périodique des poids, et cela lui a permis d'établir une classification dont il faudra désormais tenir compte, car elle a déjà fait ses preuves en autorisant des prévisions justifiées. Peut-être cette ingénieuse théorie de la périodicité des fonctions devra-t-elle un jour être étendue aux substances complexes parmi lesquelles on voit aussi parfois les

mêmes propriétés reparaitre à différents degrés de composition. D'après la loi de Dulong et Petit, le produit du poids atomique par la chaleur spécifique est une quantité constante pour les gaz simples et pour les gaz composés sans condensation de volume des composants. MM. Lecoq de Boisbaudran et Lockyer ont signalé un autre rapport entre le poids atomique des substances et leurs radiations lumineuses, les accroissements des poids étant proportionnels à ceux des longueurs d'ondes dans les spectres des corps, induction confirmée par la découverte du gallium et du samarium. Il faudrait combiner ces divers indices et chercher dans le mode d'action des atomes, conséquence de leur inégalité de puissance, la raison pour laquelle les uns se prêtent, les autres se refusent à s'unir. Ils s'attirent ou se repoussent, s'allient ou se séparent suivant l'accord ou le désaccord de leurs mouvements rythmiques et l'affinité se résout, comme la pesanteur et la cohésion, en concomitances ou en conflits d'effets dynamiques.

Le *desideratum* de la science serait d'établir la mesure exacte des énergies qui agissent dans chaque combinaison. En Chimie, comme en Physique, l'explication des faits doit viser à les traduire en nombres et en figures. On est loin encore d'avoir donné par le calcul à la dynamique des atomes une précision comparable à celle de la dynamique des masses et surtout de pouvoir exprimer par une formule simple la loi générale des phénomènes de composition; mais tel est le but et la connaissance ne sera parfaite qu'en l'atteignant. La nécessité d'un progrès de ce genre est pressentie de toutes parts. « L'avenir de la Chimie, dit M. Schützenberger, est du côté de la théorie dynamique » (*Traité de Chimie*, 1879). De même M. Tyndall : « La tendance principale dans l'avenir de la philosophie naturelle sera probablement d'organiser, en le soumettant aux lois de la mécanique, le chaos actuel des phénomènes chimiques » (*La chaleur*, p. 502). « Nous avançons, dit un autre auteur vers une théorie de la Chimie, mais nous ne la

possédons point encore. Nous n'aurons une théorie véritable de la Chimie que quand nous pourrons rattacher cette science, par quelque hypothèse, à la théorie générale de la Dynamique. Pour cela, il nous faut savoir au moins quelque chose de la grandeur absolue, de la masse et de la forme des molécules et des atomes, de la position de ceux-ci dans la molécule et de la nature des forces à l'action desquelles ils sont soumis. Alors la Chimie deviendra une branche des mathématiques appliquées sans cesser d'être pour cela une science expérimentale. » (Crum Brown, *Discours d'ouverture à l'assoc. britann. pour l'avancement des sci. Revue scientifique*, 12 décembre 1874.)

L'évaluation des forces vives en Chimie impliquerait, outre la connaissance des masses atomiques ou moléculaires et de l'énergie dont elles sont dépositaires, celle des vitesses dont ces masses sont animées. Or, la notion de temps n'a pas encore été introduite dans l'analyse des faits de composition qui, jusqu'à présent, n'a tenu compte que des poids. Le problème de la mécanique des atomes est le même que celui de la mécanique céleste, « avec cette différence que, pour les atomes, une seconde est un siècle, tandis que, pour les astres, un siècle est une seconde. Cependant, dans les deux cas, les mouvements, si différents pour l'étendue de leurs périodes, sont également fonction du temps. Si la révolution d'un soleil autour d'un autre soleil dure mille ans, tandis que les atomes en voie de combinaison en exécutent des centaines de millions dans la millionième partie d'une seconde, c'est toujours, dans l'un et l'autre cas, par suite de la même impulsion qui est imprimée aux atomes chimiques par les particules vibrantes de l'éther. » (Gaudin, *l'Architecture du monde des atomes*, p. 193.)

La science n'a pas actuellement le moyen de mesurer la quantité de puissance qui se réserve, s'accumule ou se dépense dans les phénomènes chimiques. Mais, si une

détermination de ce genre ne peut pas être obtenue directement, il n'est pas impossible d'y arriver par une voie détournée, en prenant pour indice les équivalents physiques de la force chimique. Une corrélation unit en effet les deux sortes d'actions, et la première peut servir à évaluer la seconde. Les combinaisons donnent lieu à des phénomènes de chaleur, de lumière et d'électricité qu'il importe de consulter.

On doit s'attacher de préférence aux effets thermiques parce qu'ils sont en rapport constant avec les mouvements d'où résultent les combinaisons et les plus propres à donner la mesure du travail effectué dans les réactions. Les deux forces sont à ce point connexes que l'affinité n'est jamais abolie sans dégager de la chaleur, ni restituée sans en absorber. La considération de ce fait général conduit à chercher l'appréciation de la puissance des actions chimiques dans les quantités de chaleur absorbées ou dégagées. La thermo-chimie est le biais par lequel on pourra le mieux aborder le problème de la Chimie générale. M. Berthelot a résolument fait entrer la science dans cette voie. (*Essai de mécanique chimique fondé sur la thermo-chimie*, 1879.) Il établit : 1° le principe du travail moléculaire, d'après lequel la quantité de chaleur dégagée dans une réaction mesure la somme des travaux chimiques et physiques accomplis dans cette réaction ; 2° le principe de l'équivalence calorifique des transformations chimiques ; et 3° le principe du travail maximum formulé en ces termes : « Tout changement chimique accompli sans intervention d'une énergie étrangère tend vers la production du corps ou du système de corps qui dégage le plus de chaleur. »

L'ordre entier des faits de combinaison serait à étudier de nouveau en vue de reconnaître ces relations thermo-chimiques. La Chimie, dit M. Berthelot, ne deviendra, comme la Dynamique, une science mathématique que lorsqu'on aura déterminé quelque relation générale entre

les masses chimiques élémentaires et les chaleurs dégagées. Mais « un tel état de choses est encore loin de nous et la loi qui exprimerait les travaux accompli par les rapprochement de deux molécules chimiques hétérogènes, en fonction de leur masse, de leur température et de leur distance, n'est ni connue, ni même soupçonnée. » On sait seulement, d'une façon très sommaire, que les composés les plus fixes dégagent le plus de chaleur et que cette quantité décroît à mesure que leur substance se complique. Les corps simples se forment à des températures excessives qu'il ne nous est pas possible d'atteindre ou de maintenir, et de là résulte le privilège d'irréductibilité qui caractérise ces éléments. Les radicaux exigent des températures élevées encore, mais non plus inaccessibles, et sont dissociés par elles. Les composés définis parcourent leurs cycles de combinaisons entre des limites de température où l'expérience peut aisément se placer, ce qui nous procure le pouvoir de défaire, de refaire et de modifier ces substances à notre gré. Enfin, les composés indéfinis évoluent sur une échelle de température dont les limites très peu distantes ne dépassent pas en général le petit nombre de degrés qui correspondent aux changements d'état de l'eau, et, même dans cet intervalle restreint, cèdent à de minimes influences dont l'appréciation échappe. Il y a donc, entre la chaleur et l'affinité, une corrélation générale qui les fait croître et décroître ensemble, de telle sorte que l'ordre hiérarchique des composés est indiqué par l'ordre chronologique de leur formation en rapport avec les stades du refroidissement cosmique, c'est-à-dire avec des degrés de réductibilité par la chaleur. Toutefois, on ignore encore suivant quelle loi les quantités de chaleur tour à tour absorbées et dégagées varient d'une combinaison à l'autre. De même que les poids atomiques sont des multiples ou des sous-multiples de celui de l'hydrogène, les nombres de calories en relation avec l'intensité des actions chi-

miques pourraient être des multiples de la quantité propre à quelque combinaison qui, une fois reconnue, servirait de type ou d'étalon pour évaluer toutes les autres. La découverte d'une loi de ce genre aurait une importance capitale pour l'établissement de la théorie chimique (Secchi, *L'unité des forces physiques*, p. 133-4 et 568-9).

La connaissance d'un équivalent thermique de l'affinité ne suffirait point encore et M. Berthelot y attache une valeur trop exclusive peut-être. Puisque, dans les combinaisons, plusieurs sortes d'effets physiques peuvent simultanément se produire, il faudrait les faire tous entrer en ligne de compte, car leur somme seule représente l'équivalent exact de l'action chimique, et, se borner à l'un d'eux, c'est admettre un résultat incomplet. Les phénomènes électriques, dans l'étude desquels on avait espéré d'abord trouver à la fois la mesure de l'affinité et un principe de classement pour les substances, ne permettent pas, il est vrai, de conclure d'une manière générale des propriétés des corps, en tant qu'électro-positifs ou électro-négatifs, à leurs aptitudes chimiques; il y a pourtant un équivalent électrique de la force de combinaison. Faraday a montré que, lorsqu'on fait agir un même courant sur diverses substances, les quantités d'éléments séparés sont proportionnelles à leurs équivalents respectifs. Les «*électricités spécifiques*» pourraient donc, comme les chaleurs spécifiques, contribuer à fournir la mesure des énergies chimiques (Dumas, *Philosophie chimique*, p. 458-61).

Enfin, les effets lumineux, quoique rares et d'une interprétation malaisée, doivent être consultés partout où il est possible de les saisir. L'analyse spectrale fournit à cet égard de précieux renseignements sur les composés les plus simples. Il conviendrait sans doute d'utiliser ces divers indices, thermiques, électriques et lumineux, de les compléter ou de les contrôler les uns par les autres et de résumer dans une même formule leurs résultats conciliés.

La loi générale de l'action chimique une fois déterminée, on voudrait pouvoir remonter plus haut encore dans la connaissance des causes, et, après avoir expliqué les combinaisons par des mouvements d'atomes, chercher à expliquer les mouvements des atomes par l'influence de l'éther, d'autant plus souveraine ici qu'elle s'exerce sur de moindres particules de matière. Les atomes, en effet, n'agissent pas directement les uns sur les autres. Si petits que soient les intervalles qui les séparent, il n'y a pas entre eux de contact, et, dès lors, un intermédiaire dynamique est indispensable pour les unir. Afin de concevoir leur action à distance, il faut supposer que chaque atome, constituant un centre de force, tient sous sa dépendance une petite atmosphère d'éther et se trouve par elle en communication avec l'éther ambiant. Ces atmosphères, variables en étendue ou en vitesse de rotation suivant la grandeur, le poids ou la puissance de mouvement des atomes, se pénètrent lorsque des réactions s'accomplissent (comme font les atmosphères des molécules dans les phénomènes de cohésion), et mettent ainsi les affinités en jeu, soit que des convenances réciproques disposent les éléments à s'agréger, soit qu'un défaut de concert les oblige à se disjoindre. Quand des atomes hétérogènes sont en situation d'agir les uns sur les autres, ils doivent se colloquer dans l'ordre le plus favorable à leur équilibre ou plutôt à la concordance de leurs mouvements, comme il arriverait pour des systèmes planétaires dont les orbites viendraient à s'entrecroiser. Malgré la disproportion des masses, le frémissement harmonique des atomes que l'affinité relie est en effet comparable à la coordination des mondes qu'enchaîne la gravitation. Les atmosphères des éléments associés en molécules forment sans doute une sorte d'atmosphère commune dont le mouvement total est la résultante des mouvements partiels et prédispose le groupe à figurer avec d'autres molécules dans des agrégats plus com-

plexes. Les combinaisons se réduiraient alors à la réunion de plusieurs tourbillons atomiques ou moléculaires, aptes à se grouper, malgré des inégalités de grandeur ou de vitesse, dans des conditions particulières d'accord. La production d'un système collectif de vibrations en rapport avec les vibrations des composants, implique le minimum d'écart entre les mouvements propres des éléments, et, conséquemment, la moindre force vive dans l'ensemble des actions vibratoires, ce qui entraîne le plus fort dégagement de chaleur. Cela aiderait à comprendre le pouvoir électif de l'affinité, la fixité des substances les plus simples et la mutabilité des plus complexes.

Des actions et des réactions doivent continuellement se produire entre la masse de l'éther ambiant et les atmosphères des atomes ou des molécules. L'éther diffus agit sur ces tourbillons par sa pression constante et ses vibrations passagères. Il subit en retour l'influence des mouvements atomiques ou moléculaires, comme en témoignent les effets physiques qui résultent des combinaisons. L'analyse spectrale montre qu'une relation intime unit les ondulations lumineuses dues aux vibrations de l'éther et l'état de composition des corps. Les systèmes d'ondes qui correspondent aux modes d'agrégation des atomes et ceux qui caractérisent les modes d'agitation de l'éther sont entre eux dans un rapport déterminé. Mais la science manque absolument de données pour établir même des conjectures sur cette dynamique transcendante.

Lorsque la Chimie, surmontant tous ces obstacles, aura réussi à formuler une loi d'atomicité générale en corrélation avec une mécanique des atomes, il ne lui restera plus qu'à l'appliquer systématiquement au détail des faits de composition, afin de les tous distribuer avec ordre dans une « nomenclature ». Le principe de ce mode de répartition consiste à donner aux substances un *nom* qui les *classe*, c'est-à-dire à créer une terminologie où la désigna-

tion même des corps en exprime la définition sommaire. Un artifice de ce genre n'était pas nécessaire pour coordonner les catégories antérieures de faits, car leur nature, uniforme en Dynamique et peu variée en Physique, ne comportait que des distinctions de séries. Son emploi devenait au contraire obligatoire dans une science dont les phénomènes, différenciant les uns des autres d'une manière discontinue et tranchée, avaient besoin d'être qualifiés chacun à part. Le seul moyen de se reconnaître dans la multitude des substances consiste à leur attribuer des noms composés à leur image et présentant comme un résumé de leur constitution chimique. La science des combinaisons doit au nombre limité des éléments, à la dérivation graduelle des composés et à leurs caractères si divers, le moyen de les définir avec précision et la possibilité d'établir une nomenclature rationnelle.

Les noms assignés aux corps par l'usage avant l'acquisition de connaissances positives ne jetaient aucun jour sur leur nature chimique, car les plus anciens n'avaient qu'un sens traditionnel et ceux d'origine récente se référaient à des analogies d'aspect ou à des assimilations arbitraires. Dès que la science fut constituée, on sentit le besoin d'adopter des noms dont la signification fût en rapport avec la composition des choses. Ces termes, construits d'après les indications combinées de l'analyse et de la synthèse, devraient mentionner l'espèce et la proportion des éléments, les propriétés principales du composé, ses aptitudes virtuelles, son rang dans la série, sa loi de composition. Nulle part la maxime de Condillac qu'« une science se réduit à une langue bien faite » ne trouve d'application aussi exacte qu'en Chimie. Un répertoire général où chaque substance serait dénommée et classée par la considération des combinaisons dont elle procède et de celles où elle peut figurer, permettrait d'embrasser dans toute son étendue l'ordre des effets de l'affinité. C'est ce tableau que la nomenclature a mission de réaliser. Il faudrait traduire

en brèves formules les phénomènes chimiques, coordonner leur ensemble et montrer la suite des faits, l'enchaînement des rapports.

Par malheur, la Chimie générale n'a pas encore en main de fil conducteur pour se diriger dans le dédale des combinaisons. Le système de nomenclature institué par les chimistes français de la fin du XVIII^e siècle ne satisfait déjà plus aux exigences de la science. Les affinités de l'oxygène, qu'ils avaient prises pour base, ne se prêtent guère, si grande que soit leur importance, à un classement universel. En outre, la distinction des oxydes et des acides, regardée comme principale, est artificielle en ce sens qu'elle vise une seule propriété et confond sous le même titre une foule de composés hétérogènes rapprochés par l'unique raison qu'ils rougissent ou bleuissent la teinture de tournesol. Pour la science actuelle, les faits de réaction entre les bases et les acides, sur la considération desquels Lavoisier et ses collaborateurs avaient fondé leur système de nomenclature, n'apparaissent plus que comme des cas particuliers dans l'ordre général que laisse entrevoir la théorie de l'atmicité. En Chimie, où toutes les substances diffèrent, il n'y a pas à espérer qu'on puisse jamais, en tenant compte d'une seule propriété, constituer des groupes homogènes et des séries nettement graduées. On ne voit que les dissemblances; les analogies restent cachées et, tandis que les espèces sont trop distinctes, les genres ne sont pas assez apparents. La classification naturelle des produits de l'affinité devrait exprimer « la plus grande somme d'analogies » (Dumas), et consulter surtout le degré de complication que présente la molécule (Wurtz, *Histoire des doctrines chimiques*, p. 201, 269). La théorie atomique fournira peut-être le moyen de répartir les substances en groupant celles qui, douées d'un pouvoir égal de saturation, peuvent le mieux se substituer l'une à l'autre. Dans les groupes ainsi constitués, on distinguerait ensuite des séries conformes à des types déterminés et

caractérisés par certaines analogies de propriétés. Enfin, on diviserait les séries en familles où les corps qui ont le même radical se trouveraient réunis (id., p. 202,3). Des tentatives sont faites pour distribuer à nouveau les composés en se réglant sur les affinités de l'hydrogène; mais les aptitudes restreintes de cet élément n'offrent pas une base assez large pour un classement total. La science hésite sur le meilleur système à suivre, car on pourrait classer les corps par la considération soit de leurs éléments, soit des degrés ou des types de composition, soit enfin des fonctions, ou mieux encore en utilisant toutes ces données dans l'ordre de leur importance. L'établissement d'une nomenclature rationnelle sera le couronnement de la science, la conclusion de ses théories, l'expression de ses lois les plus étendues. Les fondateurs de la Chimie n'ont pu élever qu'une construction provisoire, parce qu'ils faisaient de ce travail un préliminaire de recherches, alors qu'il devra constituer la tâche finale, le résumé de toutes les connaissances acquises.

L'ancienne nomenclature se bornait à indiquer la nature et la proportion des éléments dans les composés définis, sans appliquer le même mode de classement aux composés indéfinis. Comme les mots seraient tenus de suivre parallèlement la complication des substances, ils deviendraient vite d'une longueur excessive et d'un emploi malaisé. Aussi les auteurs de la nomenclature n'avaient-ils pas assigné de dénominations appropriées aux composés organiques qui, dans l'usage, ont conservé leurs noms communs (sucre, alcool, éther, albumine, etc). Il y aurait donc à créer, pour cette partie de la science qui est de beaucoup la plus vaste, une terminologie spéciale.

La nomenclature parlée, trop sommaire, a été heureusement complétée par la nomenclature écrite ou symbolique, due à Berzélius, et qui fait connaître, outre la nature des éléments associés, leurs quantités respectives et la manière d'envisager leur mode de groupement. Enfin, les for-

mules dites « développées » exposent en parlantes images l'arrangement des atomes dans la molécule. La notation chimique arrive ainsi à rivaliser avec la notation mathématique au double point de vue de la précision et de la netteté. Elle exprime en chiffres ou représente en figures les nombres d'atomes dont est formé l'agrégat, leurs positions et relations, leurs évolutions dans les cas de polymérie, les atomicités, la valeur des poids atomiques, etc. On pénètre par ce biais dans le mystère de la constitution des groupes et l'on a toute latitude pour traduire en équations les mutations des substances.

La Chimie générale est donc loin encore de se trouver instituée dans son ensemble. Trop d'inconnues restent à dégager pour que le problème puisse être, non pas résolu, mais même nettement posé. La preuve en ressortirait au besoin des nombreux traités de « Philosophie chimique » publiés depuis le commencement du XIX^e siècle (on a une *Philosophie chimique* de Dalton, une autre de Davy, une troisième de M. Dumas, une quatrième de M. Wurtz...). Un peu de science serait préférable sans doute à tant de philosophie ; mais la tendance à philosopher sur cette matière montre combien le besoin de systématisation se fait impérieusement sentir, et le défaut de résultats positifs combien la tâche est ardue. L'établissement d'une théorie qui coordonne le vaste détail des combinaisons doit être désormais le but principal des efforts de la science. L'avenir sera tenu d'établir une Chimie rationnelle qui fasse dériver de quelques principes généraux et simples toutes les lois de composition. Une formule initiale étant donnée, on devrait pouvoir en déduire la genèse des éléments, la complication progressive de leurs dérivés et l'atténuation graduelle de l'affinité. La science, achevée et parfaite, disposerait alors d'une faculté de prévision comparable à celle qui, en astronomie, fixe par avance les positions des corps célestes sur leurs orbites ou signale

aux observateurs des astres inaperçus. Elle pourrait de même suppléer aux lacunes de la nomenclature, prédire des éléments inconnus¹ et spécifier par avance des composés éventuels. Quand la Chimie, où, jusqu'ici, l'empirisme a dominé, aura trouvé sa loi de gravitation, elle deviendra, comme la Dynamique, une science de raisonnement et l'analyse mathématique prévaudra sur l'étude patiente des faits.

1. La puissance de prévision paraît acquise déjà en ce qui concerne les corps simples. M. Mendéléef, guidé par des inductions théoriques, avait annoncé, sous le nom d' « ekaluminium », le gallium, à placer entre le zinc et l'arsenic, avec une densité prévue de 5,90, alors qu'elle est en réalité de 5,96; et, sous le nom d' « ekabor », le scandium, avec un poids atomique de 44, tandis que le poids réel est de 45. Ce sont là de remarquables approximations.

CHAPITRE III

MÉTHODE DE LA CHIMIE. — DE L'INTÉGRATION

Indiquons, pour terminer, la méthode particulière que la Chimie a dû constituer et mettre en œuvre, car ses difficiles recherches exigeaient l'emploi d'un mode spécial d'investigation.

L'intuition était en effet de peu de secours pour l'étude des phénomènes de composition, à cause des bornes vite atteintes où cesse leur évidence. Si l'idée même de substance est manifeste en tant qu'elle se lie, par une induction primordiale, au concept d'existence, elle reste, comme lui, indéterminée et confuse. Le témoignage des sens ne renseigne pas directement sur la nature chimique des corps et sur les variations qu'elle éprouve. Quelques impressions internes, telles que la faim, la soif, la fatigue, nous avertissent bien de modifications subies par les éléments de l'organisme, mais sans nous rien apprendre de précis. Les sens externes les plus actifs sont impropres à discerner l'état de composition des choses. Le toucher, le sens thermique, l'ouïe et la vue, instruments préférés de l'exploration dynamique ou physique, nous laissent tout ignorer de la condition des substances. Seuls, l'odorat et le goût procurent à cet égard quelques informations, mais trop souvent incertaines et limitées d'ordinaire à ce qui inté-

resse le besoin. Le goût peut reconnaître dans une goutte d'eau $1/2000^e$ de gramme d'acide sulfurique, quantité que l'analyse aurait peine à saisir (Bernstein, *Les sens*, p. 258). L'odorat, plus subtil encore, perçoit moins de $2/1\ 000\ 000\ 000^{es}$ de gramme de musc, dose infinitésimale que nul réactif ne décèlerait et que l'analyse spectrale elle-même, qui ne va pas au delà de millièmes de gramme, serait impuissante à constater (*id.*, p. 248-9). Mais, si exquise que soit la délicatesse de ces sens, elle ne nous fait point pénétrer dans le mystère de la constitution des corps, et, quoique on ait de tout temps goûté ou flairé quantité de choses, on n'a point réussi à établir une science avec ces données. L'homme, réduit aux ressources de la perception, a, pendant une longue suite de siècles, vécu, comme les enfants et les sauvages, dans une ignorance profonde de la Chimie, assistant sans y rien comprendre aux changements de substance qui s'opéraient en lui ou autour de lui. La sensation serait même plutôt propre à égarer dans cette recherche, parce que, se fiant à l'apparence, elle est aisément déçue. On sait combien l'aspect trompeur des choses fait méconnaître d'identités réelles et admettre d'analogies erronées. A prendre les sens pour juges, on ne soupçonnerait jamais que le charbon et le diamant, l'acide acétique et le sucre de raisin, etc., ont la même composition. Plus fréquemment encore des ressemblances illusoires font déclarer pareilles des substances différentes. Il suffit de rappeler que des fraudes sans nombre, l'altération des monnaies, l'emploi des poisons et la falsification des denrées les plus usuelles, de celles mêmes qui, destinées à servir d'aliments, subissent le double contrôle du goût et de l'odorat, se fondent sur l'incertitude du témoignage des sens en fait de composition.

La déduction n'aurait pas été moins insuffisante pour instituer une science des combinaisons. Si le raisonnement est utile pour tirer des conséquences de faits établis, il ne

serait pas capable d'établir ces faits eux-mêmes en partant d'axiomes. On ne voyait même pas, de prime abord, comment les lois des grandeurs pourraient servir à déterminer les nombres, les poids et les modes de groupement des atomes, puisque ces éléments se trouvent placés sur la limite où toute grandeur concevable s'évanouit.

L'observation n'avait pas non plus de prise immédiate sur les phénomènes de combinaison, car elle a besoin de voir les choses pour constater leurs situations, et les atomes sont plus invisibles encore que les molécules. La méthode de la Dynamique ne pouvait livrer que des notions relatives aux masses, et l'interprétation de cette donnée réclamait une autre méthode.

Enfin, l'expérimentation, si efficace pour l'étude des modalités physiques, n'ouvrait par elle-même aucun jour sur les mutations chimiques. Elle signalait bien les conditions ou les effets des combinaisons, mais ne révélait pas la nature des changements accomplis dans l'intimité des substances. Une foule d'industries ont su très anciennement composer ou décomposer certains corps à l'aide d'agents physiques sans acquérir pour cela des connaissances précises sur les phénomènes produits, parce que, en Chimie, l'empirisme ne suffit pas.

La science de la composition des choses devait donc se faire une méthode spéciale appropriée aux difficultés de son sujet. Cette méthode porte le nom d'« analyse » (de ἀνάλυσις, résolution). Mais l'analyse n'en représente qu'une moitié; la synthèse (de σύνθεσις, composition) est son complément nécessaire. Le vrai nom de la méthode chimique serait donc « méthode d'analyse et de synthèse ». Toutefois, ces termes, empruntés à la langue de la philosophie, devraient lui être réservés, à cause de leur signification générale qui, pour les diverses sciences, sert à indiquer, d'une part, la division des problèmes, de l'autre l'accord des solutions. L'analyse et la synthèse des chimistes ont un

sens particulier et concret qui gagnerait à être exprimé autrement. Il est à regretter que l'usage n'ait pas conservé les mots de « diacrise » (διάκρισις, séparation) et de « syn-
crise » (σύνκρισις, réunion), par lesquels Démocrite et son école désignaient dans la théorie atomique les faits de disgrégation et d'assemblage des atomes qui correspondent à la décomposition et à la composition des substances. De plus, il faudrait pouvoir indiquer à la fois par un nom simple les deux procédés d'analyse et de synthèse, afin de ne pas donner à croire que la Chimie dispose de deux méthodes distinctes. Faute de mieux, nous proposerions le terme d'« intégration » (de *integer*, entier, *integrare*, remettre en état). L'analyse constituerait alors une « désintégration » et la synthèse une « réintégration. » Le sens du mot intégration n'annoncerait pas seulement une étude complète de chaque substance sous ces deux aspects, en vue de déterminer d'abord la nature et la proportion de ses éléments, puis la série des combinaisons dont elle est le produit ou le facteur; il laisserait encore entrevoir, par ce que son acception a d'indéfini, l'obligation de soumettre à cette double épreuve l'intégralité des substances et d'embrasser, dans une théorie générale, l'ensemble des faits de composition.

Cette méthode procède des méthodes antérieures, combine leurs ressources, les complète les unes par les autres et ainsi ajoute à leur efficacité.

L'intuition fournit à la science des combinaisons, outre l'idée fondamentale de substance, la notion des propriétés sensibles qui servent à caractériser les corps et autorisent à présumer en eux des différences de nature. Mais au lieu de se borner à constater ces données, comme le fait l'Ontologie pour établir la réalité des choses, la Chimie ne voit en elles qu'une indication première et se réserve de pénétrer plus avant.

La déduction lui est aussi d'un grand secours. La Chimie tient à la Mathématique par un lien étroit dont

A. Comte a eu tort de méconnaître la nécessité logique (*Cours de philos. posit.*, t. III, p. 29). La solution des problèmes de composition est affaire de dosage, de proportion et d'équivalence. Il faut évaluer des poids, jauger des volumes, dénombrer des atomes, figurer un ordre de collocation. La science s'efforce de traduire ses données en chiffres et d'exprimer ses formules en équations. Des rapports mathématiques une fois connus en matière de combinaisons, il y a lieu d'en suivre les conséquences dont l'étendue se mesure au degré de généralité des principes, et la déduction abstraite intervient alors utilement.

L'intégration met encore à profit la méthode d'observation, car chaque changement de substance correspond dans les masses à des variations de volume, de poids ou de situation dont l'examen relève de la Dynamique, et nos expédients pour déterminer ou suspendre les effets de l'affinité se ramènent à rapprocher ou à écarter des corps. L'artifice des pesées fournit le plus important des indices en fait de composition et c'est pour avoir introduit dans ces recherches l'usage de la balance que Lavoisier a mérité d'être proclamé le fondateur de la Chimie. Cependant les données de l'observation n'ont ici qu'une valeur limitée et sommaire. Pour passer de la mécanique visible des masses à la mécanique invisible des atomes, il fallait traverser des inférences subtiles auxquelles la Dynamique n'est pas obligée d'avoir recours.

Enfin, l'expérimentation devait jouer en Chimie un rôle considérable, puisque nos moyens d'action pour modifier les substances consistent à faire intervenir des forces physiques dont l'influence ébranle les molécules ou leurs éléments et entraîne, selon l'occurrence, soit la destruction, soit la construction des agrégats. Des phénomènes de modalité se mêlent donc, comme effet ou comme cause, à tous les faits de combinaison. L'analyse et la synthèse se produisent toujours dans des conditions déterminées de chaleur, de lumière, d'électricité, d'état phy-

sique, et, pour s'y placer, le chimiste est tenu d'expérimenter sans cesse. Néanmoins, les indications de ce genre, dont la Physique tire immédiatement parti, n'ont en Chimie qu'une utilité indirecte, et, tandis que la première se borne à interpréter ces faits, la seconde est astreinte à interpréter leur interprétation.

Ainsi les méthodes précédemment établies, à la fois indispensables et insuffisantes, sont employées toutes ensemble par l'intégration en vue d'un résultat qu'aucune d'elles ne pourrait atteindre séparément. L'exploration chimique a pour point de départ des données de fait que l'intuition procure; mais elle traverse leur évidence, au lieu de s'y tenir, et poursuit des vérités problématiques. Elle appelle à son aide la déduction, mais en place d'axiomes, elle prend pour prémisses des phénomènes constatés. Si elle recourt à l'observation, c'est qu'elle veut surprendre, sous l'ordre apparent des masses, l'ordre caché des atomes. Enfin, quand elle met en œuvre les ressources de l'expérimentation, c'est comme moyen, non comme fin. L'intégration se subordonne donc ces diverses méthodes et tend, par les voies qu'elles lui ouvrent, à une fin qui lui est propre. Elle recueille tous les indices, consulte les aspects sensibles des corps, mesure leur grandeur, détermine leur condition dynamique et scrute leurs modalités; mais, en utilisant ces divers modes d'investigation, son unique but est d'arriver, par l'explication sagace d'une multitude d'effets connus, jusqu'à la cause inconnue des faits de composition.

La méthode de la Chimie, plus complexe qu'aucune des précédentes, était par cela même plus difficile à constituer. Au lieu de se réduire, comme l'observation, à reconnaître, d'après les situations toujours visibles des choses, l'action d'une force dont les effets uniformes et continus suivent dans leurs développements une même loi générale, ou, comme l'expérience, à faire varier dans des conditions

facultatives les effets de la force moléculaire dont la diversité, strictement limitée, correspond à celle de nos ordres de sensations, l'intégration devait examiner une prodigieuse quantité de substances dont chacune a ses propriétés distinctes, résulte d'une combinaison spéciale et nécessite une étude à part. En Dynamique, où une cause simple agit partout et sans cesse de la même façon, les problèmes, peu nombreux, se tranchent par séries. Les mêmes conditions d'équilibre, stable ou instable, et les mêmes modes de mouvement, direct ou circulaire, régissent des ensembles de corps et un seul exemple suffit pour établir la loi. En Physique, où les modalités constituent un petit nombre de classes dont chacune se modifie régulièrement par degrés, on peut se restreindre à vérifier quelques cas, sans être obligé d'en épuiser le détail. En Chimie, au contraire, par suite de la disparité générale des phénomènes, des essais partiels ne sauraient suffire; les recherches doivent s'étendre à la totalité des faits. Chaque substance, simple ou composée, nécessite un examen particulier, sans que la science ait le droit d'en négliger une seule ou d'en préjuger par analogie la nature. Il faut donc qu'ici, l'observation et l'expérience, chargées d'accomplir une tâche démesurément accrue, considèrent l'intégralité des cas de combinaison et scrutent chaque substance dans ses relations avec toutes les autres, c'est-à-dire fassent de la matière une étude à fond.

En outre, pour observer et pour expérimenter les corps, les isoler et les soumettre, dans des conditions requises, à l'influence d'agents modificateurs, l'intégration réclamait un matériel approprié à ses manipulations délicates (récipients inallérables, éprouvettes, creusets réfractaires, cornues, alambics, fourneaux, piles, etc.). Toutefois, les instruments essentiels de l'exploration chimique sont les substances elles-mêmes que l'opérateur fait réagir les unes sur les autres. Sa latitude de recherche augmente avec le nombre des réactifs dont il dispose et l'art de les com-

biner dans un certain ordre, de manière à faire parcourir aux corps le cycle entier des modifications qu'ils sont susceptibles d'éprouver, soit quand ils se simplifient, soit quand ils se compliquent. L'emploi raisonné des procédés que la chimie met en œuvre exigeait beaucoup de connaissances acquises. La réunion de ces moyens de recherche date seulement du milieu du XVIII^e siècle, et depuis lors, la science, devenue positive, a réalisé de rapides progrès.

Durant le court espace de temps, un siècle à peine, qui nous sépare de son établissement, la méthode chimique a dû perfectionner ses artifices afin de résoudre les séries de problèmes dont elle a successivement abordé l'étude. Les deux modes d'investigation désignés par les expressions d'analyse et de synthèse remplissent en effet dans l'élaboration de la science des fonctions distinctes et n'ont pu être systématiquement appliqués que l'un après l'autre. L'analyse fait connaître la composition des choses et la synthèse les degrés de composition. La première enseigne de quoi les corps se composent et la seconde l'ordre des combinaisons. En d'autres termes, le problème chimique se pose de deux manières différentes et sa solution consiste, d'une part, à décomposer chaque substance en ses éléments; de l'autre, à la recomposer avec ces mêmes éléments. L'analyse et la synthèse répondent à cette double question. Il convient même de distinguer deux sortes d'analyses et deux sortes de synthèses, car les procédés varient suivant que l'on cherche à savoir de quels agrégats d'atomes ou de quels agrégats de molécules les substances se composent, ou bien que l'on veut connaître les séries de combinaisons ou les lois de l'ensemble. La méthodes d'intégration comprendrait ainsi quatre méthodes partielles, adaptées, la première, à la détermination des éléments; la seconde, à la décomposition graduelle des substances composées; la troisième, à l'étude des rapports de

composition; la dernière, à celle des lois de composition.

Un mode élémentaire d'analyse (analyse centésimale ou quantitative) se borne à spécifier la nature et à évaluer la proportion des éléments admis dans chaque composé donné. Prenant les corps dans l'état où le monde nous les livre, elle s'applique à les défaire par les divers moyens dont elle dispose, jusqu'à ce que, trouvant leurs éléments réfractaires à toute tentative de dissociation, elle les déclare irréductibles ou simples. A cette fin, elle emploie la dissolution, la fusion, la volatisation, les hautes températures, l'électricité, les réactifs les plus énergiques. Sa marche est prompte, facile et sûre. Comme ce mode d'analyse a seulement en vue de déterminer les éléments des corps, sans tenir compte des combinaisons intermédiaires, il n'est complètement instructif que pour les plus bas degrés de composition. Il serait insuffisant pour l'étude des composés supérieurs, parce qu'il laisse ignorer leur dérivation progressive.

L'analyse spéciale vise à résoudre ce second problème. Tous les moyens de réduction ne conviennent plus pour faire connaître l'état de composition des substances complexes; il faut alors recourir à des artifices moins sommaires et substituer aux analyses directes des analyses graduées. La première façon de procéder, marchant à son but par le chemin le plus court, démolit les composés en bloc, comme on renverse un édifice en le sapant par la base; la seconde s'attache à déconstruire l'agrégat assise par assise, afin de mettre en lumière son mode de construction et son plan, c'est-à-dire l'ordre de superposition des composés hiérarchiques. Dès le début, l'analyse centésimale avait montré que la substance des organismes est le produit de l'association de quatre corps simples; mais ce n'était là qu'une donnée première. Des analyses plus attentives ont signalé entre ces éléments et les extrêmes de composition une multitude de degrés qu'il faudrait marquer avec soin. La manière de les établir est très imparfaite.

« Les procédés employés à l'origine pour étudier les transformations des principes constitutifs des tissus organisés sont demeurés encore fort éloignés du but. En effet, ces procédés reposent en général sur le jeu des affinités violentes. Ils suffisent pour permettre de métamorphoser à volonté les principes volatils et leurs dérivés; mais ils altèrent profondément et dès les premiers moments les substances plus mobiles... Toutes les fois que l'on veut agir avec ménagement sur ces derniers principes, il est nécessaire d'avoir recours à l'emploi d'affinités plus faibles et de faire intervenir presque exclusivement l'action réciproque des principes organiques eux-mêmes. » (Berthelot, *Synthèse chimique*, p. 97, 8.) Il y aurait donc à instituer une seconde méthode d'analyse, aussi délicate et prudente que la première est expéditive et brutale, et qui, au lieu de préférer les voies les plus courtes, suivrait pas à pas les plus longues.

Parmi les procédés d'analyse qui ont pris récemment une très grande importance, il convient de mentionner l'analyse spectrale dont le pouvoir a déjà (1859-1881) fait découvrir une série de corps simples et dont la portée éclaire d'un jour inespéré la constitution chimique des astres. M. Lockyer a rendu ce moyen de recherche plus efficace encore en faisant traverser par une étincelle électrique la flamme chargée des substances que l'on étudie. Ainsi se trouvent combinés les trois modes d'action les plus puissants, la chaleur, la lumière et l'électricité. La spectroscopie n'est pourtant applicable qu'à l'étude des substances inorganiques. Peut-être les artifices de l'optique fourniront-ils quelque jour un procédé mieux approprié à celle des substances organiques. Ainsi, les travaux de M. Pasteur sur l'acide paratartrique ont montré qu'il se compose de deux éléments identiques, sauf cette unique différence, que l'un (dextrogyre) dévie à droite le plan de polarisation, tandis que l'autre (lévogyre) le dévie à gauche. Le même indice a fait reconnaître une dissymétrie

analogue d'éléments dans plusieurs autres composés organiques. Mentionnons enfin l'appareil ingénieux du « phonomètre », inventé par M. Hughes (1879), sorte de balance acoustique capable de révéler dans un alliage des millièmes de métal. C'est un complément d'analyse qui s'adresse non plus à l'œil mais à l'oreille et ajoute des données quantitatives aux données qualitatives de l'analyse spectrale. La « spectrophonie », érigée en méthode distincte, signale dans les corps des différences de composition en rapport avec la manière variable dont ils résonnent sous l'influence des radiations lumineuses. On explore ainsi dans les choses des qualités que ne révèle pas le spectroscope.

Après l'analyse, qui détermine les éléments de substance et les modes de composition, la synthèse établit les rapports de composition. Il y aurait également lieu de distinguer en elle deux méthodes dont l'une a pour objet de reconstituer les corps composés en suivant les stades de leur complication progressive, et dont l'autre, spéculant sur l'ensemble des combinaisons, aspire à formuler les lois générales de l'affinité.

La synthèse proprement dite s'applique à reproduire les substances dont l'analyse a déterminé la composition. Prenant pour point de départ leurs éléments les plus simples, elle les conduit par degrés jusqu'au plus haut point de complication que leurs dérivés puissent atteindre. Au lieu de tenter toutes les voies, comme l'analyse, elle n'en suit qu'une, seule capable d'aboutir, et règle sa marche sur ses longs détours. En revanche, elle va plus loin que l'analyse, car, ayant le pouvoir de créer, au lieu de se borner à détruire, elle scrute le possible après le réel et compose des substances dont la nature n'avait pas fourni le modèle.

La Chimie générale attend un dernier progrès de méthode qui lui donne le pouvoir de résoudre ses problèmes. Pour assigner des lois à l'ensemble des faits de compo-

sition et distribuer avec ordre la multiplicité des substances dans les cadres d'une nomenclature rationnelle, il faudrait instituer une synthèse idéale qui puisse résumer et traduire en formules l'intégralité des cas de combinaison. La science ne dispose pas encore d'une méthode appropriée à ces recherches transcendantes.

L'organisation des moyens d'étude dont la Chimie fait usage s'est ainsi développée par une sorte d'évolution logique : l'analyse élémentaire, en raison de la simplicité de ses artifices, a été la première constituée et, dès l'époque de Lavoisier, sa théorie était fixée. L'analyse spéciale, relativement récente, est loin d'être aussi avancée, surtout en ce qui concerne les composés organiques. On débute à peine dans la synthèse qui, exigeant des notions préalables fort étendues, n'a pu être inaugurée que de nos jours. M. Berthelot, qui a particulièrement mis son importance en lumière, lui assigne pour but la production artificielle des composés de tout ordre en suivant la progression des combinaisons hiérarchiques de leurs éléments (*Chimie fondée sur la synthèse*, 1850, et *Synthèse chimique*, 1875). On pourrait, avec cet auteur, partager l'histoire de la Chimie en deux périodes, l'une analytique, dont Lavoisier a été l'initiateur, l'autre synthétique, que M. Berthelot fait dater de ses propres travaux (*Synthèse chimique*, p. 1 et 10). Quant à la méthode nécessaire pour que la science soit en état de formuler des lois générales, son établissement est une œuvre réservée à l'avenir.

LIVRE VI

MORPHOLOGIE

SCIENCE DE LA STRUCTURE DES CHOSES

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION DE LA MORPHOLOGIE

Nous avons étudié successivement jusqu'ici la réalité des êtres, la mesure des grandeurs, l'ordre de collocation des masses, la condition moléculaire des corps et la composition atomique des substances. Parvenus à ce point, nous atteignons, sinon le terme absolu de la divisibilité des choses, du moins la limite au delà de laquelle il ne nous est plus donné de la concevoir clairement. Incapables d'aller plus loin dans cette voie, nous devons changer de direction, revenir sur nos pas et reprendre l'idée de corps pour l'examiner sous un autre aspect. Les sciences qui précèdent s'appliquent à défaire les agrégats perceptibles de matière afin de constater l'état ou la nature de leurs éléments. Il nous faut maintenant scruter la manière dont ces éléments s'unissent pour donner aux choses une forme déterminée. Considérons les corps comme des assemblages de parties

composées elles-mêmes de parcelles et cherchons comment ces matériaux réalisent des tout-clos dont le trait essentiel est une structure définie.

Lorsque, en effet, les atomes s'agrègent sous les lois de l'affinité pour constituer des molécules, ils doivent se ranger dans un certain ordre imposé par les conditions d'équilibre. Lorsque, ensuite, les molécules se lient sous l'empire de la cohésion pour produire des corps, elles doivent aussi se grouper dans l'ordre le plus favorable à leur stabilité commune et à la concordance de leurs mouvements. Le résultat de cette double ordonnance est la genèse d'éléments plastiques dont le type varie selon la nature des substances et qui, associés suivant des lois spéciales, servent à construire les formes sans nombre dont le monde étale sous nos yeux la diversité.

Le mot de « forme » que nous employons ici doit être pris dans son acception la plus large. Il n'exprime pas seulement le contour extérieur des choses, la configuration apparente de l'ensemble, donnée sommaire que la perception saisit tout d'abord et dont se contentent les représentations fictives de l'art, mais qui ne saurait suffire aux exigences de la science ; la forme comprend le détail entier de la structure, et la connaissance du dedans importe plus encore que celle du dehors. Ce qui caractérise la construction plastique, c'est l'adaptation réciproque des parties dont se compose le tout, l'unité de l'agrégat constituant une « individualité », c'est-à-dire un ensemble qu'on ne pourrait scinder sans en détruire l'harmonie (*in-dividuum*). Les choses, en prenant une forme, cessent d'être des amas confus ou des agglomérations homogènes ; elles se disposent d'après un plan. Leur configuration s'explique par un concert suivi dans l'arrangement des particules intégrantes, par l'accord qu'établit la convenance des parties entre elles et avec le tout. La conformation procure ainsi aux choses une existence à la fois individuelle en ce que chaque réalité particulière représente un tout-

clos distinct, et spécifique en ce que la même condition de structure se retrouve dans des séries d'individus dont la réunion compose une « espèce » (de *species*, forme, apparence).

La structure doit être conçue comme l'effet d'un mode de mouvement évolutif et rythmique en vertu duquel les éléments des choses s'unissent conformément à des types définis. De même que l'architecte distribue dans un ordre assigné d'avance les matériaux d'un édifice ou que le sculpteur façonne une molle argile, la force mystérieuse qui modèle les formes sous un ébauchoir invisible, semble poursuivre, atome par atome, molécule par molécule, la réalisation d'une sorte d'idéal plastique. Elle colloque les particules des corps de manière à produire des unités d'ordre spécial par la création desquelles la matière passe de l'état de dispersion et d'incohérence à l'état de coordination et de système. La science n'a pas encore adopté de terme pour désigner l'ensemble des actions qui déterminent la structure et dont la fixité des espèces atteste la permanence comme leur nombre la variabilité. On attribue communément la production des corps vivants à une « force vitale » qui leur serait propre et rendrait aussi compte de leurs fonctions. Mais c'est compliquer le problème que d'étudier ensemble ces deux catégories de faits. D'autre part, comme les corps bruts ont également leur mode de structure, il faudrait imaginer pour eux une force différente, ce qui conduirait à scinder l'unité logique des phénomènes de conformation. La science travaille à éliminer la force vitale comme cause des effets propres aux corps vivants pour en restituer le détail à des actions dynamiques, physiques ou chimiques. Néanmoins, ce retranchement opéré, on se trouve en présence de faits qu'elles sont incapables d'expliquer, la construction des formes d'après des types arrêtés, et il faut admettre, pour en rendre compte, un mode particulier d'action que nous appellerons « plasticité. » Une puissance constructive ou

énergie formatrice (*nisus formativus*, *archæus faber* de Van Helmont) met en ordre les éléments des corps, bruts ou vivants, et leur impose des conditions de concordance et d'unité. Cette force, considérée dans son principe, pourrait constituer un mode complexe de mouvement caractérisé par la tendance à produire dans la mise en place des matériaux de structure des effets de concomitance et d'harmonie. Elle dispose la substance des corps à peu près comme une plaque en vibration distribue les grains de sable répandus à sa surface en leur communiquant le frémissement qui l'anime et les amène à s'arranger suivant des systèmes réguliers de figuration en rapport avec les lignes de force. (Secchi, *L'unité des forces physiques*, p. 588). La plasticité, analogue à la gravitation, à l'action physique et à l'affinité, est, de même que ces forces auxquelles elle se lie et dont sans doute elle procède, inconnue dans son essence, mais partout visible dans ses effets.

Afin d'éviter dans la délimitation du sujet tout risque de confusion, indiquons par quels traits les phénomènes de structure se distinguent de ceux que nous avons examinés jusqu'ici.

Dans les corps, pris à l'état de systèmes pondérables, la Dynamique ne voit que des masses et, sans tenir aucun compte de l'ordre de leurs parties, spéculer sur l'action de la gravité dans des ensembles en vue de déterminer les conditions d'équilibre ou de mouvement. Là se borne son étude.

De son côté, la Physique, uniquement attentive aux relations mutuelles des molécules, ne cherche pas comment, groupées suivant des lois de série, elles forment des tout-clos spécifiques. Après les rapports qu'ont entre elles, d'une part les masses, de l'autre les molécules, il reste donc à scruter les rapports des molécules et des masses, c'est-à-dire la coordination des éléments dans l'agrégat.

Entre les faits de composition et ceux de structure, la frontière est encore aisée à tracer. Le chimiste n'étend pas son investigation au delà des effets de l'affinité. A-t-il reconnu par voie d'analyse la nature et la proportion des substances admises dans un composé? Peut-il le reconstituer par voie de synthèse? Enfin, l'a-t-il classé à son rang dans le cadre de la nomenclature? Sa science est complète sur ce point et n'a plus rien à prétendre. Quant à l'arrangement ultérieur que les substances peuvent prendre, à la formation de matériaux plastiques et à la coordination de ces matériaux, il n'a pas qualité pour en juger. Ce sont d'autres problèmes, dont la solution dépasse sa compétence, parce qu'elle exige l'emploi d'une méthode nouvelle. Ici, en effet, l'étude porte, non plus sur des combinaisons fixes entre des couples de substances, mais sur des assemblages variables d'éléments coordonnés par groupes complexes, et, malgré l'étroit rapport qui, surtout au point de départ, relie ces deux ordres de faits, ils suivent des lois distinctes. Dans le principe, on croyait qu'à l'identité de substance devait toujours correspondre l'identité de propriétés; mais on a plus tard reconnu qu'un même corps, simple ou composé, manifeste à l'occasion des propriétés diverses, ce qui doit nécessairement tenir à des différences de structure. Plusieurs éléments revêtent des formes « allotropiques. » Le cuivre, l'antimoine, le plomb..., en offrent des indices et les cas de ce genre sont fréquents parmi les métalloïdes. On connaît deux sortes de phosphore, huit états du soufre... Les faits d'isomérisie semblent se multiplier à mesure qu'augmente la complexité des substances et résultent soit du mode de distribution des atomes dans la molécule élémentaire, soit de celui des molécules élémentaires dans la molécule totale. Certaines matières se prêtent à prendre des structures étonnamment variables. L'eau et le carbonate de chaux cristallisent sous un très grand nombre de formes. Enfin, les composés de carbone,

d'azote, d'hydrogène et d'oxygène suffisent à construire l'infinie multiplicité de celles qu'anime la vie. Il importe donc de considérer dans les choses, outre leur composition, qui pour un état donné reste constante, leur conformation, qui est susceptible de changer. Les faits de combinaison et ceux de structure doivent être scrutés séparément. Ils relèvent de deux sciences qui se touchent sans se confondre.

La généralité des phénomènes plastiques a besoin d'être établie clairement, car on se méprend parfois sur l'étendue réelle de la science qui a mission de les étudier. Pour A. Comte et son école, il n'y a que des formes vivantes; les formes inorganiques n'existent pas ou sont sans valeur. La cristallographie n'a pas trouvé place dans le *Cours de philosophie positive*. Une omission pareille, que rien ne justifie, détruit l'unité de la science des formes. Exclure à priori le plus vaste des règnes de la nature, le seul qui se suffise et s'explique par lui-même, c'est méconnaître les analogies des choses, écarter le simple et se réduire au complexe. La tendance de l'esprit de recherche à diviser les problèmes afin de les résoudre moins malaisément a fait insister plus que de raison sur les différences qui séparent les corps bruts des corps vivants et conduit à déclarer leur dissemblance absolue. Comme motifs de scission entre les deux classes, on allègue des disparités d'état physique, de composition et de fonctions; mais ce sont là des considérations étrangères à la structure et dont l'importance est conséquemment subordonnée. Suffisantes pour imposer une division des formes, elles n'autorisent pas la méconnaissance de leurs rapports. La seule question essentielle est de savoir si, dans les corps exclus, il y a, oui ou non, des faits de conformation. Or, dès qu'on examine les choses sous cet aspect, on ne voit plus de raisons pour disjoindre les anorganismes et les organismes; on n'en trouve que pour

les unir. Si grandes que soient leurs différences, ils se ressemblent en cela que les uns et les autres ont une forme définie. La même méthode est applicable à leur étude; on peut également les figurer, les décrire, les comparer et les classer. Sans doute, ils représentent des modes distincts de structure, mais ils ont toujours une structure, et ce trait qui leur est commun oblige de les tous admettre dans la science des formes. L'usage réunit à juste titre sous la désignation collective de « Sciences naturelles » la minéralogie, la botanique et la zoologie, qui traitent de la structure des diverses séries de corps. Seulement, elles ne se bornent pas à cette étude et cela les fait descendre au rang de sciences particulières. La science générale que nous cherchons à constituer doit ne s'occuper que des formes, mais elle est tenue de les toutes examiner.

Il y a plus, les substances amorphes (liquides ou gazeuses) ne pourraient pas, malgré leur inconsistance, être retranchées sans dommage du champ d'exploration que nous voulons circonscrire. Si, en effet, prises en masses, elles n'ont pas de forme arrêtée et persistante, elles ont du moins une structure moléculaire qui résulte de leur composition même et se maintient à travers les états physiques dont la solidité n'est qu'une des stades. La genèse des formes s'accomplit précisément au point où les corps passent de l'état fluide à l'état solide. Elle est la conséquence d'une coordination d'éléments qui, avant d'être fixés par la cohésion, devaient être libres et mobiles pour aller se ranger aux places que le travail de la construction leur assigne. La fluidité tient à la disposition de la force plastique les matériaux premiers des choses. Mais ces matériaux mêmes ont une forme et laissent surprendre l'œuvre pour ainsi dire à l'état naissant. Le linéament initial de la structure, son trait le plus caractéristique et ses aptitudes les plus étendues préexistent dans le groupement des atomes dont la molécule est le produit, et l'importance de cette donnée apparaît clairement quand on

voit les mêmes formes dériver des mêmes substances. Ces propriétés plastiques ne sont pas, il est vrai, discernables dans les liquides; néanmoins elles sont inséparables de leur constitution moléculaire. Les corps à l'état amorphe rentrent donc de droit dans l'étude des formes comme composant le fonds primordial de toute plasticité. Si la science n'est pas actuellement capable d'étendre jusque-là ses recherches, il convient de réserver l'avenir et de ne pas faire par avance abandon de propriété. Peut-être les formules développées de la Chimie permettront-elles un jour de franchir les limites où, pour le moment, la perception se trouve arrêtée.

Embrassons par la pensée l'ensemble des faits de conformation : leur généralité comprend tout. Les substances amorphes, rudiments des formes futures, possèdent, à défaut de plasticité patente, une plasticité latente qui se réalise dans certaines conditions. Les corps à forme déterminée constituent des agrégats dont les uns (cristaux), entièrement solides, ont une structure simple et invariable, tandis que les autres (organismes) revêtent des formes complexes et changeantes. Les phénomènes plastiques se développent ainsi en deux séries et, pour les bien connaître, il faut les tous comparer. Leur extension n'a pas de limites dans la nature et des corps quelconques sont à examiner sous cet aspect. Chacun d'eux a sa structure, élémentaire ou composée, générale ou spéciale. Il est fluide ou solide, ou participe de ces deux états. Il a conséquemment une plasticité virtuelle ou actuelle et son étude doit trouver place dans la science qui nous occupe.

Mais ici une objection se pose : la généralité des faits de cet ordre, admise pour le monde terrestre, peut-elle être également affirmée pour les autres mondes, pour tout l'univers? La science manque sur ce point de preuves directes, car nos moyens d'information sont bornés. Néanmoins, divers indices permettent d'établir des

conjectures plausibles. L'unité de composition des astres, constatée par l'analyse spectrale, implique comme induction légitime l'unité corrélative d'aptitudes plastiques. Le rapport qui unit les solides aux fluides et la constance de la production des cristaux dans des conditions données de température obligent de présumer que, là où l'incandescence a pris fin, la matière a dû se modeler en formes analogues, sinon pareilles à celles que nous connaissons. La spectroscopie signale dans certains astres, dont la couleur rouge indique un refroidissement relatif, les spectres propres aux corps solides. La permanence des aspects lunaires, l'existence de cirques et de montagnes à la surface de notre satellite, attestent chez lui la présence de matériaux solidifiés. Enfin on a reconnu dans les aérolithes, corps d'origine extraterrestre, des espèces minérales et des formes cristallines semblables à celles que la cristallographie décrit. Quant à l'existence de formes organisées dans les autres mondes, la science est réduite à des hypothèses; mais, si elle n'a pas encore le moyen de les vérifier, elle peut du moins les rendre extrêmement plausibles. La flexibilité avec laquelle nous voyons la vie s'adapter aux milieux et aux climats les plus différents porte à supposer que des phénomènes de même genre ont pu se produire dans les astres dont les conditions ne s'écartent pas trop de celles du globe que nous habitons. Les autres planètes du système solaire composent une famille de mondes soumis aux mêmes influences et possèdent sans doute des créations dont la nôtre peut donner idée. Plusieurs même (Vénus, Mars, Jupiter, Saturne...) ont une atmosphère qui contient de la vapeur d'eau. La formation d'êtres vivants n'a donc chez eux rien d'impossible ou pour mieux dire d'improbable. Nous ignorons si, dans les astres qui s'éloignent davantage de nos conditions cosmiques, mais où figure également le carbone, la nature n'est pas arrivée, par d'autres combinaisons, à produire des types peut-être incomparablement supérieurs à ceux de

nos organismes. Il serait téméraire de prendre, selon les termes de Bossuet, « notre faible, très faible connaissance de la nature pour la mesure des possibilités physiques » (*Lettres diverses*). « On ne saurait, dit aussi Leibniz, se figurer la nature trop libérale ; elle l'est au delà de tout ce que nous pouvons inventer et toutes les possibilités se trouvent réalisées sur le grand théâtre de ses représentations. » (*Nouveaux essais sur l'entendement humain*, liv. III, chap. 6, § 32.) Rien ne nous autorise donc à présumer que la vie soit confinée dans notre petit monde ou qu'elle y atteigne son plus complet développement. Lorsque de simples modifications de sol, de température, d'humidité, ou même les stades de l'évolution organique ont suffi à produire sur terre des créations si variées, que n'en doivent pas contenir les astres sans nombre, dans les conditions les plus diverses de chaleur, de lumière¹, de composition...? En somme, il est infiniment vraisemblable que partout une même puissance s'exerce à façonner la matière. La force plastique, non moins universelle que la gravitation, l'action physique et l'affinité, aspire ou travaille à construire des formes dans toutes les régions de l'espace, dans tous les cycles de la durée. Elle ne laisse aucun corps venir à l'être sans disposer ses matériaux suivant des lois.

L'étude d'un sujet si vaste motive l'établissement d'une sixième science générale représentée en partie par ce qu'on appelle « Histoire naturelle. » Mais nous devons écarter cette dénomination impropre, car la science ainsi désignée n'est pas une « histoire », au même sens que celle des hommes, et n'est pas davantage une étude complète de la nature, puisque les naturalistes se contentent

1. Déjà les planètes offrent à cet égard de notables inégalités. L'influence de la chaleur et de la lumière du Soleil est, pour Vénus 2 fois et, pour Mercure, 7 fois plus considérable que pour la Terre. Elle est 27 fois moindre pour Jupiter, 90 fois pour Saturne et près de 1000 fois pour Neptune. De là doivent résulter des conditions spéciales d'organisation et de vie.

d'en examiner des aspects restreints. Cependant, ils embrassent trop encore et, au lieu de borner leurs recherches à un seul objet, comme l'exigerait le principe de la division des sciences, ils scrutent à la fois les formes et les fonctions. Il y a là, croyons-nous, une erreur de méthode et une cause de confusion. C'est pourquoi nous préférons donner à la science des formes le nom de Morphologie (de *μορφή*, forme), qui exclut toute ambiguïté. Ce terme, créé par Goethe pour indiquer la recherche des corrélations plastiques, conviendrait mieux à l'ensemble de la science. L'usage, il est vrai, ne lui assigne pas d'acception bien précise puisqu'on l'applique indifféremment à l'étude des formes organiques (morphologie animale, morphologie végétale) et à une branche de la philologie (morphologie du langage). Il faudrait restreindre sa signification aux faits de structure, mais l'étendre assez pour qu'il les comprenne tous. La Morphologie sera pour nous la science des formes, qu'elles soient brutes ou vivantes. Son cadre doit contenir un groupe de sciences partielles qui, faute de systématisation raisonnée, n'ont entre elles que des rapports indirects, la cristallographie, l'anatomie générale, l'anatomie spéciale, la botanique et la zoologie descriptives, l'anatomie comparée et la taxinomie. Il importe de relier ces divers ordres de connaissances, de leur imposer l'unité qui, jusqu'à présent, leur a fait défaut, et d'établir une seule science consacrée à l'étude des faits de conformation.

Cette science, A. Comte n'a su en reconnaître ni la spécialité, ni la généralité. Il institue à sa place la « biologie » (de *βίος*, vie ⁴), science mal limitée et particulière. Le terme de biologie ne s'applique en effet qu'à l'étude des êtres vivants. On l'emploie même de préférence pour désigner celle des animaux. En outre, il confond dans son objet

1. Le mot de Biologie, proposé par Lamarck (*Hydrogéologie*, 1801) fut aussitôt adopté en Allemagne par Tréviranus (*Biologie*, 6 vol. 1802-1822) et par Oken (*Esquisse d'un système de Biologie*, 1805).

les faits de structure et les faits de fonction. Il a donc le double inconvénient de ne pas comprendre la classe entière des phénomènes plastiques et d'admettre un sujet étranger. Sans doute, les formes et les fonctions sont unies par d'étroits rapports; il n'est pourtant pas impossible, comme le soutient A. Comte, de les examiner à part. Elles se laissent disjoindre sans trop de peine, de même que la composition et la structure, l'action physique et l'affinité, la gravitation et l'action physique. La spécialité des sciences se fonde sur une séparation de phénomènes qui, dans la nature, sont toujours connexes. Les scissions de ce genre constituent la raison d'être de l'analyse à laquelle il serait inutile d'avoir recours si les catégories de faits s'offraient à l'étude distinctes et isolées. Enfin, le terme de biologie conduit à concevoir la vie comme un principe particulier d'action et consacre ainsi une erreur.

Par suite de la méprise qui lui faisait prendre la biologie pour une science générale, malgré l'évidente particularité du sujet, A. Comte se mettait dans l'obligation d'en exclure l'étude des corps bruts et, ne sachant où lui trouver place, il l'a reléguée dans la Chimie. L'auteur du *Cours de philosophie positive*, s'appropriant une grosse erreur de Bichat¹, a exagéré comme à plaisir la distinction des corps bruts et des corps vivants. Il les proclame différents de tous points et n'admet pas qu'on puisse les examiner ensemble (t. III, p. 370). Il s'autorise même de ce contraste imaginaire pour scinder, non plus seulement la série des formes, ce qui serait rationnel, mais l'ordre entier des connaissances humaines, ce qui est manifeste-

1. « Il y a dans la nature deux classes d'êtres, deux classes de propriétés, deux classes de sciences. Les êtres sont organiques ou inorganiques, les propriétés sont vitales ou non vitales, les sciences sont physiques ou physiologiques... Des lois *absolument différentes* président à l'une et à l'autre classe de phénomènes. » (*Anatomie générale*, Préface). Il est difficile d'être plus affirmatif et moins dans le vrai.

ment abusif. La Mathématique mise à part, à titre de science abstraite, il divise toutes les sciences de faits en deux groupes dont l'un (Astronomie, Physique, Chimie) ne s'occuperait que des corps bruts, tandis que l'autre (Biologie, Sociologie) traiterait exclusivement des êtres vivants (V. *Tableau synoptique*, t. I, p. 7 et p. 69). C'est subordonner au principe de la particularisation le classement le plus général des connaissances. Dans un système aussi mal raisonné, la science des corps bruts est partout, excepté où elle devrait se trouver. Restituons à la Morphologie, science des formes, l'étude des anorganismes et réservons celle des fonctions pour en composer une dernière science, nous aurons un ensemble intégral et bien défini de phénomènes relatifs à la structure des choses.

CHAPITRE II

PROGRAMME DE LA MORPHOLOGIE

La science des formes n'a pas encore réparti méthodiquement ses problèmes. On s'est contenté longtemps de diviser l'ensemble des choses au lieu d'analyser leurs aspects plastiques et, en place de séries de phénomènes, on a établi des collections de réalités. Dès le début, Aristote avait distribué les corps en deux grandes classes, les corps vivants ($\psi\upsilon\chi\acute{\iota}\alpha$) et les corps bruts ($\acute{\alpha}\psi\upsilon\chi\acute{\iota}\alpha$); puis, distingué parmi les premiers les animaux ($\zeta\omega\acute{\alpha}$) et les végétaux ($\phi\upsilon\tau\acute{\alpha}$). La nature était ainsi partagée en trois « règnes » auxquels correspondirent trois sciences, la Zoologie, la Botanique ou Phytologie et la Minéralogie.

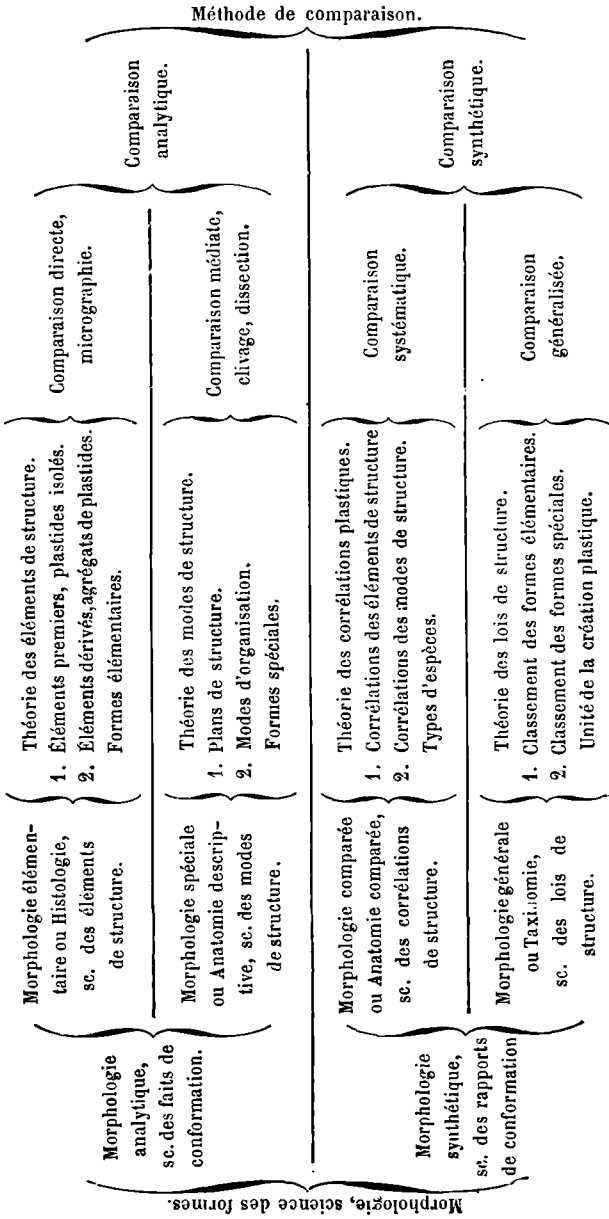
Malgré l'autorité d'une si longue tradition, encore généralement suivie, cette division nous semble à tous égards défectueuse et nous ne croyons pas possible de la maintenir. Elle suppose d'abord entre les deux groupes supérieurs une différence égale à celle qui les sépare de l'inférieur, ce qui est loin d'être exact. Les règnes animal et végétal diffèrent beaucoup moins l'un de l'autre qu'ensemble ils ne diffèrent du règne minéral. Des traits nombreux d'analogie les rapprochent. Ils se confondent même par ce que leur substance a d'essentiel (protoplasme) et devraient plutôt être réunis en un seul groupe que Blain-

ville avait proposé d'appeler « empire organique » par opposition à l'« empire inorganique ». La subdivision ultérieure de l'empire organique en deux règnes, animal et végétal, serait en outre insuffisante, car une étude plus attentive des êtres vivants a fait établir de nos jours une troisième section intermédiaire entre les deux autres et qui ne peut rentrer dans aucune d'elles (« règne psychodiale » de Bory Saint-Vincent, « protistes » d'Haeckel). Il y aurait donc, pour compléter le système d'Aristote, à instituer une « protistique » à côté de la botanique et de la zoologie. D'autre part, le règne minéral n'admet guère que les corps solides et paraît exclure les masses fluides, d'une si grande importance pour la genèse des formes. Enfin, ces corrections, faciles à opérer, laisseraient entièrement subsister le défaut de sciences qui, étudiant sous de multiples aspects des séries limitées de choses, sont en réalité particulières et ne doivent pas trouver place parmi les sciences générales.

La Morphologie est tenue de classer autrement ses problèmes. Nous n'avons à considérer que les formes. Le principe général qui nous a jusqu'ici dirigé dans la répartition des sciences nous astreint à scruter d'abord le détail des faits, ensuite leurs relations. De là résulte une première division de la science en deux parties principales, l'une analytique, où les questions de structure seront examinées séparément; l'autre synthétique, où les notions acquises seront comparées et coordonnées.

MORPHOLOGIE

SCIENCE DES FORMES



I

MORPHOLOGIE ANALYTIQUE

SCIENCE DES FAITS DE CONFORMATION

Le problème qui consiste à déterminer les formes isolément est moins complexe et plus facile à résoudre que celui qui a pour objet de scruter leurs rapports. Nos premières recherches doivent donc porter sur les faits de structure en vue de les décrire chacun à part.

Les formes, étudiées en détail, se répartissent en deux classes suivant qu'elles sont simples ou composées. Il y aurait à examiner d'abord les éléments que la plasticité met en œuvre, les matériaux de structure; ensuite la manière dont ces éléments se groupent en tout-clos complexes, les modes de structure.

Conséquemment, nous diviserons la Morphologie analytique en deux sections dont l'une, la Morphologie élémentaire, est représentée en partie par l'histologie et l'anatomie générale; et dont l'autre, la Morphologie spéciale, correspond à la cristallographie et à l'anatomie descriptive. Exposons l'ordre à suivre dans le classement de leurs problèmes.

I. — MORPHOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

SCIENCE DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

THÉORIE DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

La Morphologie élémentaire a pour objet de décrire ce que les formes ont de plus simple, les matériaux qui servent à les construire, leurs radicaux plastiques. Ces éléments, soit isolés, soit associés, composent la totalité des corps. L'étude en est relativement aisée, car ils unissent à une diversité restreinte une fixité remarquable. La constance de leur condition dans chaque espèce, dans de vastes séries et même dans chaque règne, fait que leur connaissance constitue en quelque sorte la statique des formes. Commençons par la détermination de cette donnée dont tout le reste dépend.

En quoi consistent les éléments de structure et où convient-il de placer le point de départ de l'exploration des formes? La réponse à cette question a varié selon les âges. Les anciens, dont l'étude se réduisait à un examen superficiel des animaux et des plantes, distinguaient seulement des organes dans les organismes. Les ouvrages d'Aristote, de Dioscoride et de Galien montrent qu'ils n'avaient pas porté plus loin l'analyse de la conformation des choses. Les modernes, depuis Bordeu, Haller et Bichat, ont reconnu des tissus dans les organes. L'auteur de l'*Anatomie générale* croyait avoir atteint en eux les éléments premiers de la structure. « Les tissus, par leurs combinaisons, forment, dit-il, les organes comme les corps simples de la chimie, oxygène, hydrogène, carbone,

azote, phosphore, forment les corps composés. » Mais les tissus devraient plutôt être assimilés à des éléments secondaires. A. Comte décide que là doit s'arrêter la recherche positive et regarde comme chimériques les tentatives, faites de son vivant même et avec un plein succès, pour instituer une étude des cellules dans les tissus (*Cours de philos. posit.*, t. III, p. 369 et 372). Les développements et l'importance qu'a pris la théorie cellulaire font assez voir combien A. Comte s'est trompé. La détermination de ces éléments est désormais le préliminaire obligé de la science des formes.

On souhaiterait même une base plus profonde encore, car les cellules laissent surprendre des indices de composition. La vue amplifiée discerne en elles des parties distinctes, une enveloppe, un contenu protoplasmique, un noyau, un nucléole, des granulations... C'est tout un organisme en miniature, parfois très complexe sous son apparente simplicité. Mieux que les tissus, les cellules correspondent, en Morphologie, aux corps simples de la Chimie et comme, par delà ces corps, pour nous indécomposables mais probablement composés, on entrevoit d'autres éléments que nos analyses actuelles ne peuvent fixer, on doit admettre des linéaments de formes présentement insaisissables, mais qui, peut-être, ne le seront pas toujours. On descendrait ainsi par degrés jusqu'aux substances fluides dans l'indétermination desquelles toute apparence de plasticité vient, semble-t-il, s'évanouir.

C'est pourtant de là que doit rigoureusement partir l'étude de la genèse des formes. Puisqu'elles proviennent toujours d'un fonds de matière amorphe et que les mêmes substances passent de l'une à l'autre condition quand elles se construisent ou se déconstruisent, il serait illogique de séparer deux états qui se touchent, communiquent incessamment et dont la différence d'aspect tient à un simple fait de cohésion. Il importe donc d'étudier les liquides au point de vue de leur structure moléculaire et de leur

plasticité latente. Il est vrai qu'ici la spéculation se trouve réduite à de vagues indices chimiques ; mais ces données, qui forment le trait d'union des deux sciences, ont pour la Morphologie un intérêt extrême et devront un jour être établies avec soin.

Il y a lieu de distinguer deux sortes de liquides, aptes à produire deux classes d'éléments plastiques : les uns sont cristallisables, les autres coagulables ou organisables. Les premiers, dont la composition est définie, donnent naissance, par refroidissement ou par évaporation, aux éléments solides dont se composent les cristaux ; ils échappent, par leur diversité, à toute tentative de classement ; les seconds, composés indéfinis de carbone, s'unissent à l'eau dans un état de demi-consistance pour constituer des éléments organiques, et, comme ils offrent des traits de similitude, ils se prêtent mieux à une répartition méthodique.

L'expression la plus générale de la matière vivante est une substance albuminoïde où figurent essentiellement le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Signalée par Dujardin sous le nom de « sarcode » (de σάρξ, chair) dans les animaux les plus simples (*Histoire naturelle des infusoires*, 1841), puis sous celui de « protoplasme » (de πλάσμα, formation), par Mohl dans les cellules des plantes, son identité dans les deux règnes a été démontrée par Schultze. Cette substance a pour type une sorte de liquide glaireux analogue au blanc d'œuf non coagulé. De récentes explorations en ont constaté de vastes dépôts enfouis dans les océans à une profondeur de plus de 1500 mètres (*Expéditions du Porcupine et du Polaris*). Le protoplasme, déterminé quant à sa composition, mais non quant à sa structure, est homogène et amorphe ou plutôt « monomorphe. » Il constitue, selon les termes de Huxley, « la base physique de la vie. » Nulle part, en effet, la vie ne se manifeste sans lui et, partout où il se trouve, la vie existe. Même à l'état de masse inorganisée et indivise, la matière protoplasma-

tique est vivante : elle absorbe, se nourrit, se régénère, sécrète, exhale, élimine, sent et se contracte. Sa faculté caractéristique de division s'explique par des nécessités de nutrition, car l'obligation de renouveler sa substance n'est pas compatible avec un développement indéfini et ne lui permet pas de dépasser des dimensions restreintes. Le protoplasme se divise quand il les atteint, en raison même de la facilité plus grande que trouvent de petits amas à entretenir des échanges avec le milieu. Il ne peut donc se propager qu'à l'état de parcelles distinctes; mais il se partage sans perdre ses propriétés, et là serait le principe de l'hérédité vitale.

Parmi les liquides organiques dérivés du protoplasme, on distingue les « blastèmes » et les « plasmas ». Les premiers, communs aux animaux et aux plantes, baignent uniformément leurs tissus. Les seconds, propres aux animaux, circulent dans des vaisseaux comme le sang et la lymphe. Le sang, excipient universel, véhicule d'échanges, excitateur fonctionnel, est, par sa masse¹ et par ses attributions, le liquide le plus important des organismes supérieurs. On l'a regardé longtemps (Homère, la Bible, etc.) comme le principe de la vie². Aristote établit sa division des animaux sur la considération de ce fait, tenu alors pour capital, qu'ils ont ou n'ont pas de sang (*ζῶα ἔναιμα, ζῶα ἀναιμα*) et cette répartition coïncide presque avec notre distinction des vertébrés et des invertébrés³. Le sang est une substance à demi organisée où flottent des éléments cellulaires et qui contient les matériaux dilués des tissus. Il représente la somme liquide de tous les éléments solides de l'organisme animal. C'est un organe véritable qui diffère des autres par sa mobilité,

1. Il constitue environ 7,7 pour 100 du poids total de l'homme. Un adulte du poids moyen de 70 kilog., aurait donc à peu près 5*40 de sang.

2. « Sanguis eorum vita est. » (*Deutéronome, xii, 21.*)

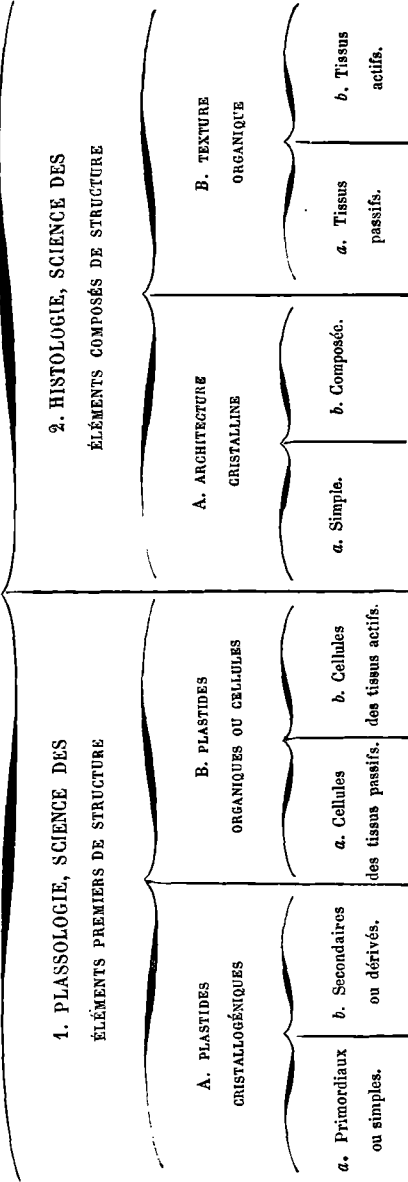
3. Sauf en ce qui concerne les annélides, souvent appelés « vers à sang rouge. »

mais qui les visite incessamment et fournit à chacun d'eux ce dont il a besoin pour réparer sa substance ou remplir ses fonctions. La composition très complexe du sang est en rapport avec la multiplicité de ses emplois. Il contient, outre environ 7/10^{es} d'eau, nécessaires pour assurer sa fluidité, des principes albuminoïdes ou protéiques (fibrine, albumine, globuline, hématosine...); des substances grasses (acides gras, oléine, stéarine...); des matières sucrées et amylacées; divers sels (chlorure de sodium, carbonate et phosphate de soude, phosphates de chaux, de magnésie...); des substances excrémentielles provenant de la décomposition des tissus (urée...); enfin des gaz (oxygène et acide carbonique). La composition du sang est sensiblement identique dans toute la série des vertébrés, quel que soit le mode d'alimentation. C'est de ce fonds commun que sortent, par voie de différenciation graduelle, les éléments spéciaux des organismes.

La structure moléculaire des liquides soit cristallisables, soit organisables, soulèverait des questions du plus haut intérêt; mais l'impuissance où l'on est actuellement d'y répondre nous oblige à ne pas dépasser dans cette étude la détermination des éléments figurés, objet propre de la Morphologie élémentaire. Les recherches n'ont guère porté jusqu'ici que sur les éléments organiques; une étude complète des matériaux de structure devrait aussi comprendre les éléments inorganiques. En outre, il y aurait lieu de distinguer deux sortes d'éléments, les uns primordiaux et irréductibles représentés chez les corps vivants par les cellules, les autres secondaires et dérivés, qui composent les tissus. Le terme d'Histologie, appliqué à leur étude commune, a, depuis le traité de Mayer (1819), remplacé celui d'Anatomie générale adopté par Bichat. Toutefois, il ne convient réellement qu'à la science des tissus (Histologie de ιστος, tissu). Il faudrait donc le lui réserver et créer une dénomination particulière (Plasologie, par exemple, de πλαστω, je façonne) pour désigner

MORPHOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

SCIENCE DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE



la science plus simple des éléments cellulaires. Voyons quels problèmes ont à résoudre ces deux ordres de recherches inaugurés par le XIX^e siècle.

1. — PLASSOLOGIE, SCIENCE DES ÉLÉMENTS PREMIERS
DE STRUCTURE

Les premiers éléments définis qu'au sortir de l'indétermination des substances amorphes l'observation puisse saisir consistent en agrégats de molécules unies par la cohésion. Leur assemblage compose un tout plus ou moins stable qui a ses propriétés distinctes et qui les perdrait s'il venait à être divisé. De là résultent son unité caractéristique, son individualité. Ces matériaux de structure sont les plus simples de tous. C'est par eux que notre étude doit commencer.

La science manque de terme général pour désigner les premiers éléments perceptibles de formes quelconques, car le mot de « cellules », admis pour les radicaux organiques, ne convient qu'à eux ou même qu'à une partie d'entre eux et n'est pas applicable aux éléments des cristaux. Celui de « plastides », employé par Haeckel et dont le sens est moins restrictif, pourrait servir à indiquer les éléments initiaux des formes soit inorganiques, soit organisées. Le plastide remplirait alors dans la théorie morphologique un rôle analogue à celui de l'atome dans la théorie chimique et marquerait le point de départ de la connaissance en fait de structure.

Cela posé, nous aurons à distinguer deux sortes de plastides que séparent de notables différences : les plastides inorganiques, dont la substance est définie, la structure compacte et la configuration polyédrique ; et les plastides organiques dont la substance est indéfinie, la structure flexible et la configuration curviligne.

A. — Plastides inorganiques, éléments cristallogéniques.

Considérés à l'état solide, les corps bruts, sont construits avec des matériaux élémentaires qu'on pourrait appeler « cristallites ». Ces premiers rudiments, insaisissables à l'observation directe, se dérobent, par leur petitesse ultra-microscopique, à la prise d'instruments capables de faire percevoir $1/10\ 000^{\text{e}}$ de millimètre, et de pareils grossissements ne rendent visibles que des agglomérations déjà complexes. Peut-être, dans certaines conditions de simplicité, les plastides cristallins se confondent-ils avec les molécules chimiques. Là même où plusieurs de ces molécules s'unissent pour produire ce que les cristallographes appellent des « molécules intégrantes », leur nombre toujours restreint les oblige à prendre une configuration qui a la même constance que la composition puisqu'elle se lie à son ordre.

Les éléments des cristaux, au point où ils deviennent visibles, affectent la forme de petits polyèdres massifs. Cette disposition est due au mode d'arrangement que prennent, conformément à leur nature, les atomes dans les molécules et les molécules dans l'agrégat. Lorsque ces éléments sont peu nombreux, ce qui est le cas de tous les composés définis, ils doivent se ranger dans un ordre favorable à la stabilité de l'ensemble d'où résulte la permanence de composition. Or, ils ne peuvent trouver des conditions d'équilibre qu'en se disposant par files symétriques le long d'un axe. Les files s'équilibrent à leur tour par rangées parallèles ou perpendiculaires à l'axe. Ce système de construction rectiligne aboutit à la formation de petits solides polyédriques chez lesquels le nombre des côtés est en raison des quantités d'atomes ou de molécules dont l'agrégat se compose. On conçoit par exemple qu'on puisse obtenir le tétraèdre avec quatre

atomes, l'octaèdre avec six, le parallépipède avec huit, le prisme hexaèdre avec douze, et le prisme rhomboïdal avec quatorze. Les propriétés optiques des cristaux fournissent la preuve que leurs éléments sont en effet disposés suivant certaines directions axiales ; mais les questions relatives aux combinaisons que ces groupements sont susceptibles de produire restent enveloppées d'une obscurité profonde, quoique de hardis chercheurs se soient efforcés d'y faire pénétrer un peu de lumière (V. Gaudin, *L'Architecture du monde des atomes*).

Par une coïncidence bien remarquable entre les conceptions de l'entendement et les créations de la nature, les éléments cristallogéniques reproduisent exactement les types les plus simples des volumes que figure la géométrie rectiligne. Ils se classent de même en réguliers et en symétriques. Il importe de distinguer parmi eux les éléments premiers, dont le type est invariable, et les éléments dérivés, susceptibles de varier.

a. — Les éléments premiers sont simples et fixes. Lorsque leur forme est celle de polyèdres réguliers, ils ne comportent qu'un seul mode d'assemblage et le type initial s'amplifie sans se modifier. Lorsqu'ils sont symétriques, ils se prêtent à divers modes de groupement par lesquels on explique les faits de polymorphisme.

b. — Les éléments secondaires dérivent des éléments premiers par suite de l'ordre variable de collocation qu'admettent les plastides symétriques. Nombre de corps cristallisent ainsi sous plusieurs formes. Le soufre, fondu et refroidi à 108°, se prend en aiguilles prismatiques, tandis que dissous et obtenu solide par évaporation, il se construit en octaèdres. Comme exemple de grand dimorphisme, citons encore le carbonate de chaux, qui tantôt cristallise dans le système rhomboédrique (spath d'Islande), et tantôt dans le système prismatique rectangulaire

droit (aragonite). Faute de données fournies par l'observation directe, l'induction ne peut établir que des conjectures théoriques sur la cause de ces dissemblances.

B. — *Plastides organiques, cellules.*

Entre les plastides organiques et les plastides cristallins la différence porte sur l'état physique, la composition, les dimensions et la structure.

Les éléments des corps bruts sont entièrement solides. Si parfois les cristaux contiennent une eau dite de cristallisation, cette eau, incluse et non combinée, occupe simplement les vides intermoléculaires. La substance des cellules, au contraire, est le produit d'une association intime entre des éléments solides et des éléments liquides ou même gazeux. Aussi doit-on admettre, avec Haeckel, outre les trois états physiques communément étudiés, un quatrième état qui résulte du mélange des trois autres en diverses proportions. Cet état mixte, éminemment favorable aux changements de volume, de composition et de forme, est spécial aux dérivés du carbone et caractérise les substances dites « colloïdes » qui, au lieu de se dissoudre dans l'eau comme font les « cristalloïdes », s'humectent et se gonflent à son contact.

Les matériaux des corps vivants ont une nature chimique complexe. Ils appartiennent, non plus à la classe des composés définis, mais à celle des composés indéfinis, c'est-à-dire qu'ils associent dans une même molécule, en quantités difficiles à déterminer avec précision, trois ou quatre sortes d'atomes. Ces substances ont, par suite, une instabilité singulière qui contraste avec la fixité des substances minérales.

Le nombre, relativement élevé, des atomes ou des molécules qui entrent dans l'élément organique, a pour effet d'accroître beaucoup ses dimensions. Alors que les plas-

tides cristallogéniques sont invisibles, même avec le secours des microscopes les plus puissants, les plastides cellulaires peuvent être observés à l'aide d'artifices optiques et quelques-uns même, tels que les ovules, se laissent percevoir à l'œil nu. La grandeur de ces éléments est donc susceptible d'être mesurée. Elle varie de $1/10^{\circ}$ de millimètre à $3/1000^{\circ}$ ou moins encore.

La différence de configuration marque le trait essentiel. Au rebours des molécules intégrantes des cristaux, dont la forme est toujours celle de petits polyèdres, les matériaux de la structure organique affectent des formes arrondies, conséquence naturelle de leur composition complexe. Les éléments chimiques groupés dans ces agrégats sont en effet trop nombreux pour pouvoir s'y ranger par files en conservant la symétrie de leurs axes. Ils doivent alors chercher des conditions d'équilibre dans une forme globulaire analogue à celle que prennent les liquides sous l'influence de la pesanteur. Exposés en outre à des mutations fréquentes, c'est-à-dire incapables de garder un ordre fixe, ils se disposent suivant des courbes dont les génératrices changent continuellement. On voit donc reparaître ici la distinction entre les deux systèmes rectiligne et curviligne de construction de l'étendue qui s'impose en Géométrie et dont nous avons suivi les développements en Dynamique, en Physique et en Chimie.

Enfin, tandis que les éléments des cristaux, compacts et rigides, s'agrègent sans se déformer, les éléments organiques, flexibles et muables, modifient leur forme en raison des influences qu'ils subissent ou même des positions qu'ils occupent. Par suite, on les voit s'aplatir, s'allonger, s'étirer, se comprimer, devenir ovoïdes, discoïdes, tabulaires, cylindriques, fusiformes, fibreux, polygonaux, étoilés, etc. Néanmoins toutes ces formes, malgré leur diversité d'aspect, dérivent du type sphéroïdal et s'expliquent par des pressions.

Les éléments organiques portent le nom de « cellules »

qui leur a été donné en considération d'un de leurs états, le premier connu, où ils ont l'apparence d'un sac ou d'une petite case. Les cellules végétales affectent le plus généralement cette disposition. C'est pourquoi le botaniste anglais Grew (1682) les avait appelées « vésicules » et Malpighi (1686) « utricules ». De Mirbel (1808) adopta le nom de « cellules » qui a prévalu et qu'on applique à tous les plastides organiques. Mais ce terme est devenu moins exact à mesure que son acception s'étendait. Il sert à désigner indifféremment les globules du sang, les corps fusiformes du tissu conjonctif, les corps étoilés du pigmentum, les plaques de l'épiderme, les fibres lisses ou striées des muscles et les éléments multipolaires du tissu nerveux. L'expression générique de cellules paraît assez mal choisie pour dénommer des types aussi divers. En outre, l'enveloppe, qui semblerait devoir caractériser la structure cellulaire, est loin d'être générale et manque chez la plupart des plastides animaux. Il y aurait donc avantage à remplacer le terme trop spécial de cellule par celui d'« organite » ou d'« élément anatomique ».

La théorie cellulaire, ébauchée par de Mirbel (1800-1808, — 1831, 1832) et par Turpin (*Mémoires du Muséum*, 1826), puis systématisée par Schleiden (1838) en ce qui concerne les plantes, et bientôt après étendue aux animaux par Schwann (1839), est universellement admise aujourd'hui comme le fondement de l'étude des êtres organisés. Tous les corps vivants consistent en cellules, soit isolées, s'ils sont « unicellulaires » ou « anhistes », soit agrégées, s'ils sont « multicellulaires » ou composés. Ceux-ci même, quelle que puisse être leur complication dans l'âge adulte, proviennent toujours d'une cellule initiale unique. La détermination de ces éléments, qui constituent la forme mère, le type primordial de tous les organismes, a donc une importance générale et doit être établie avec soin.

La variabilité des cellules rend leur classement malaisé.

Nous les répartirons en deux groupes suivant le degré de complication que leur structure comporte. Les unes, relativement simples et peu éloignées du type utriculaire, conservent entre elles une certaine indépendance et servent à construire les tissus passifs. Communes aux animaux et aux plantes, elles pourvoient aux fonctions de conservation. Les autres, complexes et modifiées, forment des associations plus étroites et composent la trame des tissus actifs. Particulières aux animaux, elles sont investies des fonctions de relation.

a. — Les éléments cellulaires les plus simples consistent en grumeaux de protoplasme sans membrane limitante et sans noyau, susceptibles de s'épancher en tous sens et de prendre diverses formes sous l'empire des causes d'irritation. Telles sont les « monères », êtres ambigus réduits à l'apparence d'un glomérule homogène. Des plastides déjà moins imparfaits circonscrivent une parcelle de protoplasme sous une enveloppe résistante et ressemblent à de petites outres (« utricules ») ou à de petites vessies (« vésicules »). Les cellules complètes ont en outre un noyau (« nucleus »), signalé presque simultanément par de Mirbel et par R. Brown (1831). Ce corpuscule solide, de forme sphéroïdale, occupe le milieu ou joint la paroi de la cellule et paraît être son centre de vitalité ou de prolifération. Foyer d'actions plastiques et fonctionnelles, il maintient la forme de la cellule et la multiplie en se segmentant. Schwann l'a, en conséquence, appelé « cytoblaste » (formateur de la cellule). Le noyau lui-même, souvent vésiculeux, contient dans son protoplasme un « nucléole », reconnu par Schleiden en 1838, et qui est au noyau ce que le noyau est à la cellule. Des granulations diverses sont éparses dans le protoplasme intracellulaire. Enfin, une « vacuole contractile » sert parfois à déterminer des pulsations rythmiques. La disposition de ces éléments est très variable et se modifie sous une foule d'influences.

On distingue d'ordinaire les cellules végétales et les cellules animales, quoique nul trait bien tranché ne les sépare. Leurs types de structure sont analogues et le protoplasme qui leur est commun établit l'unité fondamentale de la substance organique dans les deux règnes. Une subdivision serait à opérer dans chaque groupe suivant que les cellules servent à construire le tissu cellulaire et ses dérivés immédiats ou des dérivés modifiés.

Les cellules végétales sont en général peu différenciées. La forme utriculaire est, parmi elles, la plus fréquente. La cellule-type consiste en une parcelle de protoplasme contenue dans une enveloppe de cellulose que tapisse intérieurement une membrane albuminoïde et qui englobe un ou deux noyaux, des granulations de substance azotée, des grains de fécule, des gouttelettes d'huile ou de résine et des corps chlorophylliens. Les éléments cellulaires des plantes se répartiraient en deux classes d'après l'importance des modifications subies. La première comprendrait : 1° les cellules dont la forme s'écarte peu du type vésiculaire (ovules, grains de pollen, cellules du parenchyme); 2° les cellules filamenteuses, cylindriques, dont la longueur dépasse de huit à dix fois la largeur. Les plantes dites « cellulaires », comme les champignons et les algues, sont entièrement construites avec ces deux sortes de cellules. — Dans la seconde série prendraient place : 1° les cellules vasculaires qui, allongées en forme de tube et se touchant bout à bout, se soudent, résorbent les cloisons qui les séparent et forment ainsi des vaisseaux où circule la sève; 2° les cellules fibreuses qui se juxtaposent dans le sens de leur longueur, s'incrument de matériaux résistants et composent le ligneux des plantes. Ces deux sortes d'éléments, nécessaires à une organisation complexe, appartiennent en propre aux végétaux supérieurs.

Les cellules qui, chez les animaux, s'agrègent en tissus passifs, présentent des formes déjà plus variées. Elles diffèrent surtout des précédentes en ce que, au lieu d'être

enveloppées d'une membrane de cellulose dont la dureté limite leurs relations et fait obstacle aux changements de forme, elles sont recouvertes d'une pellicule fine et flexible qui facilite les échanges nutritifs et se prête à des modifications d'où résultent les spécialités des tissus. Il convient également de distinguer deux classes, l'une voisine, l'autre éloignée du type sphéroïdal. Dans la première se rangeraient : 1° les cellules libres qui flottent dans les liquides plasmatiques et dont les principales sont les « leucocytes » ou globules blancs et les « hématies » ou globules rouges. Les leucocytes, sur le rôle desquels on n'est pas encore bien fixé, paraissent remplir une fonction générale d'agents nutritifs, plastiques ou évolutifs. Ils existent chez tous les animaux et représentent dans l'adulte la suite du processus embryonnaire. Les hématies, spéciales aux vertébrés, diffèrent selon les groupes en grandeur et en configuration. Elles jouent un rôle essentiel comme vélicules de gaz, car elles se chargent, au contact de l'air, d'oxygène qu'elles charrient dans les tissus, et, dans les tissus, d'acide carbonique qu'elles déversent au dehors; 2° les éléments peu modifiés du tissu cellulaire. — La seconde section comprendrait : 1° les cellules autonomes des épithéliums (soit « pavimenteux », en forme de carrelage polygonal, soit « vibratile », avec une disposition cylindro-conique); ces éléments épithéliaux sont surtout propres aux fonctions d'absorption ou d'excrétion; 2° les cellules glandulaires, au moyen desquelles s'accomplissent les sécrétions.

b. — Après les cellules simples, peu variables et faiblement unies dont se composent en totalité les plantes et en partie les animaux, considérons les cellules complexes et profondément modifiées qui sont aptes à former les trames mieux liées des tissus actifs, par lesquels se caractérise la structure animale. Ici encore nous aurons à distinguer deux degrés de complexité plastique.

Il faudrait ranger dans une première série les éléments

qui, bien que passifs par eux-mêmes, se rattachent aux éléments actifs par leur origine et par leurs fonctions. Ce sont, d'une part, les cellules des tissus épidermoïdes; de l'autre, celles des tissus osseux, cartilagineux et tendineux. Elles procèdent, comme les suivantes, du feuillet « fibrocutané » et cette provenance commune doit les faire ranger dans une même section.

Une seconde série serait à constituer avec les éléments des tissus vraiment actifs, répartis en musculaires et nerveux.

Les éléments du système musculaire consistent en fibrilles aplaties dont les dimensions mesurent de 1 ou 2/100^{es} de millimètre à un demi-millimètre. On croit qu'elles proviennent de cellules primaires allongées et soudées. Elles renferment souvent plusieurs noyaux regardés comme les derniers vestiges des cellules initiales. Les fibres musculaires sont élastiques et contractiles, c'est-à-dire que, sous l'influence d'excitants particuliers, elles se raccourcissent dans un sens, s'allongent dans l'autre et, par ces changements alternatifs de dimensions, déterminent des mouvements. Leur forme est donc variable selon leur état de repos ou d'activité. Quand une cause d'irritation les a forcées de se contracter, elles reviennent d'elles-mêmes à leur condition antérieure.

On distingue les fibres lisses et les fibres striées. Les premières sont des cellules fusiformes avec un noyau en forme de bâtonnet et des extrémités contournées en spirale. Leurs contractions, lentes et persistantes, mais automatiques et soustraites à l'empire de la volonté, mettent en jeu les organes de la vie de nutrition. La plupart des invertébrés inférieurs n'ont que des fibres de ce genre et de là vient leur motilité bornée. — Les fibres striées, d'une structure moins simple, résultent de la soudure d'une série de cellules discoïdes superposées comme des pièces de monnaie dans un rouleau. Ces disques, alternativement blancs et opaques, doivent leur différence

de coloration à ce que les uns ne modifient pas la lumière, tandis que les autres la réfractent au moyen de corpuscules biréfringents (disdiaclasses). Les fibres striées, dont les contractions sont volontaires, rapides et précises, dominent dans la faune supérieure et lui procurent le privilège d'une incomparable puissance de mouvement.

A raison de la complexité de leurs formes et de l'importance de leurs fonctions, les éléments nerveux occupent dans l'organisation animale le rang le plus élevé. On les répartit en deux groupes : les fibres, dont se compose la « substance blanche, » et les cellules, dont est faite la « substance grise ».

Les fibres nerveuses constituent des cordons médullaires d'une grande ténuité (de 0,^{mm}001 à 0,^{mm}02 d'épaisseur) qu'entoure une gaine transparente de myéline destinée à jouer le rôle de manchon isolant, tandis que le filament intérieur (« cylindraxe ») remplit celui de conducteur. Les fibres nerveuses sont, par une de leurs extrémités, en connexion directe avec le reticulum des cellules; mais, à l'autre, leur épanouissement terminal prend les dispositions les plus variées et figure des anses, des mailles de réseau, des pointes, des bifurcations, des plaques, des renflements, etc. Depuis Magendie et Ch. Bell, les physiologistes distinguent les fibres sensitives (afférentes ou centripètes), qui transmettent aux centres nerveux les excitations périphériques, et les fibres motrices (déférentes ou centrifuges), qui transmettent aux muscles les incitations des centres. Comme ces deux sortes de fibres s'acquittent de fonctions distinctes et ont des poisons spéciaux, on avait présumé d'abord qu'elles devaient différer par le détail de leur structure et peut-être par la composition de leur substance; mais ni l'anatomie, ni l'analyse chimique n'ont pu jusqu'ici constater entre elles le moindre indice de disparité. Une expérience de M. Bert sur la greffe animale a même démontré que ces deux éléments pouvaient

changer d'attributions et se substituer l'un à l'autre. Il faut donc les regarder comme homologues, la dissemblance de leurs fonctions tenant sans doute à celle de leurs aboutissants.

Les cellules dont est formée la substance grise sont l'élément actif de l'appareil d'innervation. Si l'on compare son ensemble à un appareil télégraphique, les fibres correspondraient aux fils conducteurs et les cellules à la pile. La structure de ces centres d'action est très complexe. A mesure que les micrographes, aidés de plus forts grossissements, pénètrent plus avant dans la constitution des cellules nerveuses, ils les voient se résoudre en une multitude d'éléments qui eux-mêmes paraissent composés. Leur protoplasme prend l'aspect d'un réseau de matière pulpeuse en forme de treillis fibrillaire; leur noyau, celui d'un assemblage de fibres radiées; le nucléole laisse également soupçonner une conformation complexe. La cellule nerveuse serait donc un petit organisme, un système dans un système. On distingue, d'après leur forme, les cellules rondes ou unipolaires, d'où part une seule fibre; les cellules fusiformes ou bipolaires, qui se prolongent en deux et que l'on croit affectées aux fonctions de la sensibilité; enfin, les cellules étoilées ou multipolaires, les plus volumineuses de toutes et qui paraissent servir d'incitateurs musculaires pour la production des mouvements.

Mentionnons pour terminer les cellules génératrices qui comprennent : 1° les spermatozoïdes (découverts par Louis Hamm en 1677), qui sont les plus petites des cellules animales; et 2° les ovules ou cellules ovariennes dont le volume, souvent perceptible à l'œil nu, dépasse celui de tous les autres éléments cellulaires (chez les mammifères, que l'espèce soit grande ou petite, l'ovule mesure environ 0^{mm},2 de diamètre). Malgré leurs dimensions et la complexité de leur forme, ce sont de simples cellules dont le vitellus représente le protoplasme, la vési-

cule germinative le noyau, et la tache germinative le nucléole. Ces deux sortes de plâstides, agents essentiels de la reproduction des types, en contiennent en puissance tous les développements. Rien n'est plus propre que les aptitudes de ces cellules à faire concevoir la prodigieuse complication des moindres agrégats de la substance organique, car la virtualité d'évolution dont elles sont douées se lie nécessairement à un détail infime de composition ou de structure, et la diversité des types que réalisent les êtres préexiste dans l'ordre mystérieux de leurs éléments initiaux.

On voit quelle variété de conformation présentent les matériaux premiers des corps dans les deux systèmes cristallin et organique. Le nombre même de ces éléments les rend difficiles à classer, et, si les divisions principales sont assez nettement indiquées, les subdivisions restent sur bien des points confuses.

Dans certaines conditions, les plastides peuvent se suffire et subsister isolés. Chacun d'eux constitue alors un être distinct, arrêté au plus bas degré du développement plastique. Cette classe extrêmement simple de formes comprendrait, d'une part, les précipités, les poussières qui flottent dans l'air et les troubles tenus en suspension dans les eaux; de l'autre une multitude de corpuscules vivants qu'il faut éviter de confondre avec les « organismes », puisqu'ils sont dépourvus d'organes et réduits à une cellule unique. Tels sont les monères, les bactéries, les rhizopodes, les flagellates, les algues unicellulaires, les grégarines, etc. Invisibles ou à peine visibles, les microphytes et microzoaires foisonnent dans les divisions inférieures des règnes végétal et animal. Leur étude a pour la science un très grand intérêt, parce qu'elle montre à l'état de liberté des éléments analogues à ceux avec lesquels se construisent les organismes complexes et qu'il n'est guère possible d'en détacher pour

les regarder vivre à part. Malgré leur infinité qui les a si longtemps dérobés à l'attention des naturalistes, ces êtres occupent une place considérable dans la nature et leur puissance de pullulation les rend capables d'y produire de vastes effets. Les infusoires ont une notable importance comme agents minéralisateurs, et des strates géologiques entières (la craie par exemple) se composent des débris de leurs carapaces. Michelet décerne à ces animalcules le titre de « faiseurs de mondes » (*La mer*). Depuis les travaux de M. Pasteur, on sait que toutes les fermentations (alcoolique, acétique, lactique, butyrique, glycérique, putride...) et une foule de maladies endémiques, épidémiques ou contagieuses, sont occasionnées par des corps unicellulaires qui vivent aux dépens des substances organiques et les ramènent à un état de composition plus simple. La quantité de ces microbes dans le plus petit espace confond l'imagination. Ehrenberg a calculé qu'un pouce cube de tripoli de Billin ne contient pas moins de 1 750 000 millions de gallionelles. D'après M. Dumas, un millimètre cube de levure de bière contient environ 2 772 000 éléments propres à produire la fermentation et leur nombre doit s'élever à 100 000 000 000, pour qu'ils puissent décomposer en une heure 25 centigrammes de sucre (*Recherches sur la fermentation*, 1872). Chaque goutte de l'océan voit s'agiter et vivre des mondes d'infusoires. Ces êtres ambigus, placés sur la frontière de l'inorganisation et de la vie, sont des artisans innombrables et infatigables de construction et de destruction. Leur activité sans trêve domine le cycle des métamorphoses de la substance organique. « Dans la création vivante, dit Ehrenberg, les formes invisibles l'emportent de beaucoup sur les visibles et ce sont les plus petits êtres qui accomplissent les plus grands travaux. »

2. — HISTOLOGIE, SCIENCE DES ÉLÉMENTS DÉRIVÉS
DE STRUCTURE

Après les plastides isolés, étudions les plastides associés. Les éléments premiers de structure ont en effet une tendance à se grouper et sont le plus communément perçus sous forme d'agrégats. Tous les corps de dimensions déterminées constituent des assemblages de plastides. Mais, en se liant de la sorte, ces matériaux semblent perdre leur individualité et se fondre dans une unité collective d'ordre supérieur. Lorsque les plastides adhèrent et se coordonnent, ils produisent une seconde classe d'éléments plastiques, uniformes, homogènes et aptes à se développer dans tous les sens. On les désigne par l'expression de « tissus » dans les règnes organiques. Toutefois ce sont là des éléments secondaires, non primaires comme Bichat et A. Comte l'ont cru. Il convient de les ranger dans la même section que les cellules puisqu'ils en procèdent directement et s'en rapprochent par une simplicité relative. Leur fonction en Morphologie est exactement comparable à celle des radicaux de la Chimie : ils servent d'intermédiaire entre les formes irréductibles et les formes composées.

Bordeu et Haller ont été les initiateurs de la science des tissus. Bichat systématisa cet ordre de recherches et lui donna le nom d'*Anatomie générale* ; celui d'*Anatomie élémentaire* aurait été plus exact. Le terme d'*Histologie* » (de *ιστος*, tissu), proposé par Meyer, convenait mieux et a prévalu. Mais il faudrait restreindre son acception dans un sens, afin d'en exclure l'étude des éléments cellulaires qui est antérieure, et l'étendre dans un autre afin d'y comprendre les notions relatives aux agrégats de plastides cristallins dont l'Histologie ne s'occupe pas. L'expression même de « tissu » introduite

dans la science par Borden (*Recherches sur le tissu muqueux ou cellulaire*, 1767), est doublement défectueux car il n'est pas applicable aux assemblages d'éléments cristallogéniques et ne convient même qu'en partie aux agrégats cellulaires dont très peu offrent une analogie lointaine avec des étoffes tissées. La plupart consistent en cellules simplement juxtaposées, parfois en amas de fibres réunies en faisceaux ou en éléments enchevêtrés par une sorte de feutrage. Ces réserves faites, il y a lieu de distinguer deux modes de groupement des plastides qui produisent l'un des réseaux cristallogéniques, l'autre des trames organiques.

A. — Architecture cristalline.

Si, comme il est rationnel, on réserve le mot de « texture » pour désigner le mode d'agencement des cellules, on pourrait donner celui d'« architecture » à la construction des éléments des cristaux qui n'a aucun rapport avec un tissage et rappelle plutôt l'idée d'une maçonnerie. Ces matériaux compacts, rigides et polyédriques, ne peuvent s'unir qu'en adhérant par leurs faces et forment ainsi de petits édifices dont toutes les parties sont liées par la cohésion. Deux cas seraient à considérer suivant que la configuration de ces éléments est régulière ou symétrique.

a. — Lorsque les plastides cristallins figurent des polyèdres réguliers à quatre, six ou huit côtés (tétraèdre, hexaèdre, octaèdre), ils se lient par toutes leurs faces et remplissent l'étendue sans laisser de vides. Des polyèdres à cinq, sept ou neuf côtés ne pourraient le faire, et la cristallisation des corps dont les éléments affectent une disposition pareille est toujours confuse. Les polyèdres à douze ou à vingt côtés (dodécaèdres, icosaèdres) sont, quoique réguliers, trop complexes pour qu'une stricte uni-

formité de construction puisse se maintenir dans leur assemblage. Aussi n'ont-ils pas d'équivalents parmi les cristaux et ceux qui s'en rapprochent sont irréguliers. Les seuls solides susceptibles de former des agrégats d'une régularité parfaite sont donc le tétraèdre, le cube et l'octaèdre régulier. Ces éléments, dont chacun est unique en son genre, ne se déterminent que par eux-mêmes, se groupent d'une manière invariable et reproduisent le type sous des dimensions agrandies.

b. — Les éléments en forme de polyèdres symétriques adhèrent par leurs faces homologues et se disposent en réseaux. Quelques-uns n'admettent qu'un mode d'assemblage et les cristaux qui en proviennent sont uniformes; d'autres se prêtent à des combinaisons variables analogues aux divers dessins qu'on peut obtenir avec les pièces d'un carrelage. Les octaèdres symétriques et les prismes à base rhombe produisent ainsi fréquemment des structures dissemblables. Ces variations, qui constituent des cas de « polymorphisme », ont pour cause les influences subies au moment de la prise, telles que des conditions de chaleur, des actions électriques, des faits de pression, la nature du dissolvant, la présence de substances étrangères, etc. Le soufre, qui se solidifie en prismes à 108°, change de forme à la température ordinaire, et de même le soufre cristallisé en octaèdres par dissolution, lorsque on le chauffe à 108°. Quand le carbonate de chaux cristallise à froid, il donne le spath d'Islande, qui appartient au système rhomboédrique, et, quand il cristallise à chaud, l'aragonite, dont le type rentre dans le système prismatique rectangulaire droit. D'ordinaire, un seul type est stable; les autres se désagrègent sous de faibles influences. Ainsi, dans l'exemple que nous venons de citer, tandis que le spath d'Islande résiste à la chaleur rouge, l'aragonite, à peine chauffée, tombe en poussière.

Au rebours des phénomènes de polymorphisme, par

lesquels une même substance prend diverses structures, ceux d' « isomorphisme », signalés par Mitscherlich, montrent comment diverses substances peuvent avoir une structure pareille. La cause de cette similitude paraît due à ce que certains corps simples, doués d'aptitudes plastiques communes, les transmettent à la série de leurs dérivés. Le soufre et le sélénium, par exemple, combinés avec le plomb, l'argent, le zinc, etc., donnent des formes identiques.

B. — Texture organique.

Les éléments organiques s'agrègent dans des conditions moins simples et conséquemment plus diverses. Alors que les plastides cristallins adhèrent par leurs faces sans se déformer et déterminent des constructions compactes dont l'ordre est invariable ou peu variable, les cellules, arrondies et flexibles, cèdent à de mutuelles pressions, changent plus ou moins de forme et produisent, en s'unissant, des trames faciles à modifier. L'étude de ces éléments composés est l'objet spécial de l'Histologie. Leur classement laisse encore à désirer. Bichat ne s'est occupé que des tissus animaux et les vingt-et-une classes instituées par lui étaient trop nombreuses pour n'être pas un peu confuses. Schwann les a réduites à cinq. Mais une théorie complète exige qu'il soit tenu compte des tissus végétaux. La zoologie et la botanique, sciences particulières, ont étudié séparément jusqu'ici ces deux sortes d'éléments. La Morphologie, science générale, est tenue d'examiner ensemble les formes parvenues au même degré de complication. Les tissus se répartiraient alors en deux séries principales en rapport avec les deux classes de cellules, et l'on aurait à scruter, d'une part les tissus passifs, communs aux

plantes et aux animaux, de l'autre les tissus actifs, qui caractérisent l'organisation animale.

a. — Les tissus passifs résultent du rapprochement des cellules les plus simples, voisines du type utriculaire et bornées à des fonctions nutritives. Leur mode d'assemblage diffère chez les plantes, où les éléments sont peu modifiés, et chez les animaux, où ils le sont davantage.

On divise en deux groupes les tissus des végétaux. Le premier comprend : 1° le tissu cellulaire, dont les éléments, peu différenciés, s'écartent le moins du type sphéroïdal; et 2° le tissu filamenteux où les cellules, allongées et cylindriques, sont juxtaposées parallèlement. — Au second groupe appartiennent : 1° le tissu vasculaire, qui sert à construire les vaisseaux, trachées, canaux et canalicules des plantes dites vasculaires; et 2° le tissu fibreux ou ligneux, qui donne leur consistance aux végétaux supérieurs.

Nous répartirons également les tissus passifs des animaux en deux sections comprenant, l'une, le tissu cellulaire et ses dérivés immédiats; l'autre, les tissus épithéliaux et glandulaires.

Le tissu cellulaire, simple amas de cellules juxtaposées, est la moins spécialisée des trames organiques. Imprégné de liquides protoplasmiques et surtout propre à absorber ou à exhaler, il a pour fonction essentielle une rénovation continue de substance. Seul capable de subsister isolé, il est regardé comme le tissu primitif dont les autres tire-raient leur origine par une suite de modifications à la fois chimiques et morphologiques. Il compose entièrement la structure des animaux rudimentaires et figure dans les organismes complexes à l'état de gangue diffuse, de milieu lacunaire servant à relier les tissus spéciaux dont il comble les vides interorganiques. Il représente un système neutre, auxiliaire et support des parties différenciées. C'est le tissu plastique embryonnaire, siège des

principales néoformations organiques. Par lui se façonnent, s'alimentent et se résorbent tous les éléments anatomiques.

Les tissus passifs de la seconde section, déjà sensiblement modifiés, sont investis de fonctions distinctes. Les tissus épithéliaux tapissent les surfaces organiques. Ils sont formés, tantôt de plaques appareillées comme des pavés (épithélium pavimenteux), tantôt de petits cylindres qui parfois se terminent en cils (épithéliums cylindrique et vibratile). Les tissus glandulaires ont pour fonction de sécréter les liquides utiles à l'organisation ou d'excréter ses matériaux usés. Leur structure varie selon les organes.

b. — Particuliers aux animaux et de nature plus complexe, les tissus actifs paraissent aussi provenir du tissu cellulaire, mais par une dérivation moins directe et des modifications plus profondes. La formation des tissus passifs résulte d'une simple adhérence entre des cellules voisines qui restent encore en partie indépendantes; celle des tissus actifs implique une association d'éléments intimement unis et fonctionnant de concert. Ces tissus aristocratiques, incapables de subsister par eux-mêmes et nourris par les précédents, ont pour propriété d'être impressionnables ou irritables. Ils composent en conséquence les organes de la vie de relation. Sans équivalents parmi les plantes, ils sont la partie essentielle des organismes animés. On doit les répartir en deux groupes, l'un à demi passif et subordonné, l'autre vraiment actif et dominant.

La première classe comprend divers tissus qui, sans être actifs par eux-mêmes, se trouvent assujettis aux tissus actifs et ne peuvent pas être séparés de leur étude. Tels sont les tissus cartilagineux, osseux et tendineux. Leurs éléments procèdent de ceux du tissu cellulaire, par une transformation qui a pour effet de condenser et pour ainsi dire de minéraliser leurs matériaux solidifiés. Les membranes des cellules, fondues entre elles et unies à la sub-

stance intercellulaire, forment la trame de ces tissus qui, élastiques et résistants, servent d'insertion aux muscles, de soutien aux organes et de charpente à l'ensemble. Les invertébrés inférieurs (polypiers, mollusques) sont réduits à des concrétions calcaires qui se rapprochent des corps bruts et dont les débris ont pu s'accumuler en strates géologiques. Une substance autre que celle des os et plutôt analogue au ligneux des plantes, la « chitine », sert à construire la carapace des arthropodes. Le tissu cartilagineux compose le squelette permanent des vertébrés inférieurs et se transforme, chez les vertébrés supérieurs, en tissu osseux. La gangue des os est une gélatine encroûtée de phosphate de chaux sous forme de cellules étoilées (ostéoplastes) qui remplacent, par voie de substitution, les éléments cartilagineux antérieurs. Enfin les tendons, chargés de transmettre les mouvements, diffèrent des os en ce qu'ils sont flexibles, et des muscles, en ce qu'ils ne sont pas contractiles.

Les tissus véritablement actifs comprennent les deux systèmes musculaire et nerveux. Ils résultent de l'union de cellules profondément modifiées dont les parois et les cavités se confondent.

On distingue deux sortes de tissus musculaires, suivant que leurs fibres sont lisses ou striées. Les fibres lisses s'agrègent en couches d'épaisseur variable dont est fait le tissu « fibreux ». Cet élément, composé de fibrilles résistantes, entre dans la structure d'un certain nombre d'organes (peau, tube intestinal, vaisseaux, etc.). Il soutient les muscles, les rattache aux os et relie les pièces du squelette au moyen de tendons ou de ligaments. Intermédiaire de mouvements, il fait équilibre à la contraction musculaire, assouplit le jeu des muscles et régularise leurs fonctions en opposant une force lente et constante à une action rapide mais passagère. — Le tissu musculaire proprement dit est un assemblage de fibres striées unies en faisceaux parallèles qui se groupent ensuite en amas pour former des muscles entiers. Ses

propriétés contractiles le disposent à subir, sous l'influence d'excitants spéciaux, des resserrements qui développent un pouvoir de motilité. Ce tissu prédomine par sa masse chez tous les animaux appelés à mener une vie active.

Le tissu nerveux est le plus complexe de tous par sa structure et le plus important par ses fonctions. Seul apte à produire des manifestations psychiques, il caractérise le mieux l'organisation des êtres « animés ». Son anatomie, dont l'étude pleine de difficultés est toute récente, laisse entrevoir, sous une apparente mais trompeuse uniformité d'aspect, une complication effrayante de structure. On doit distinguer d'abord deux sortes de substances nerveuses dont la forme et les fonctions diffèrent, la « substance blanche » et la « substance grise ». L'une et l'autre sont enveloppées et reliées par la « névroglie », gangue unisante analogue au tissu cellulaire, qui les supporte, les protège, les isole et les nourrit. — La substance blanche est faite de fibres juxtaposées en faisceaux, mais indépendantes, qui aboutissent d'une part aux centres d'innervation, de l'autre aux organes de sensation et aux muscles. Revêtues d'une enveloppe fibreuse commune, ces fibres forment les cordons nerveux, organes de transmission centripète ou centrifuge. — La substance grise est un assemblage de cellules coordonnées dont la grandeur, la conformation et l'agencement varient selon la nature des centres ou même selon la région de chaque centre. Ce tissu, foyer de l'action nerveuse, s'agglomère dans les ganglions et se dispose en cordon spinal chez les vertébrés. Son principal épanouissement a lieu dans les couches corticales du cerveau, immense accumulation de cellules qui s'anastomosent par des fibres commissurantes de manière à constituer un réseau continu capable de propager dans tous les sens les ondes nerveuses et de produire par consonnance une sorte d'unisson. Les dimensions, les connexités et sans doute aussi les fonctions des

cellules diffèrent dans les diverses strates. On suppose que les régions superficielles ou sous-méningées, dont les cellules ont le moindre volume, sont une sphère de diffusion pour les impressions, le réservoir commun des sensibilités de l'organisme. Les cellules des zones profondes, remarquables par leur grosseur, représenteraient les centres d'émission des incitations motrices, les points de décharge de la volonté. Enfin, la couche moyenne qui les sépare semble être le siège où s'opère la transformation consciente des impressions en mouvements, c'est-à-dire l'élaboration de la pensée. (Luys, *Le Cerveau*, p. 19, 20.)

Ainsi les éléments secondaires, dérivés d'éléments primaires, réalisent des types divers qui se modifient par degrés. Les plus simples peuvent se suffire et s'individualiser en êtres distincts, comme on le voit par l'exemple des cristaux et des organismes rudimentaires faits d'une seule espèce de tissu. Mais la structure des organismes véritables associe des tissus plus ou moins différenciés et doués d'aptitudes spéciales. Suivant que ceux-ci se rapprochent de l'état liquide ou de l'état solide, ils sont mous ou résistants, et leur dissemblance peut aller, chez les plantes, du parenchyme des feuilles aux bois les plus durs, comme, chez les animaux, des tissus imprégnés de lymphe aux pièces minéralisées qui forment le test des mollusques ou le squelette des vertébrés. Chaque élément histologique a sa fonction distincte : le tissu cellulaire, que traversent aisément les liquides blastématiques ou plasmatiques, pourvoit à la nutrition générale; le tissu épithélial absorbe; le tissu glandulaire sécrète; les tissus cartilagineux et osseux servent de support ou d'intermédiaires dynamiques; le tissu musculaire, générateur de puissance, exécute les mouvements; enfin, le tissu nerveux les commande, relie les fonctions de tous les autres éléments et donne à l'ensemble son unité. Ces propriétés variées

s'adaptent les unes aux autres et sont un principe d'organisation complexe.

CONCLUSION

Tels sont les matériaux, isolés ou associés, que la plasticité met en œuvre dans toutes ses créations. Au sortir de l'état diffus et amorphe des fluides, elle modèle d'abord la matière en plastides représentés par les molécules intégrantes des cristaux et les cellules organiques. Elle les unit ensuite dans chaque série et produit des éléments dérivés qui consistent en agrégats pour les corps bruts, en trames ou tissus pour les corps vivants. Ces formes rudimentaires marquent la première ébauche des constructions plastiques et leurs aptitudes déterminent l'évolution des formes composées que, dès le début, elles engagent dans des voies divergentes. Étudions l'ordre et la suite de leurs développements.

II. — MORPHOLOGIE SPÉCIALE

SCIENCE DES MODES DE STRUCTURE

THÉORIE DES MODES DE STRUCTURE

Après les éléments de structure, fonds commun de la création plastique, il convient d'examiner les modes de structure où sa puissance de variation se déploie librement. Cette étude nouvelle, objet de la « Morphologie spéciale », fait connaître, non plus en quoi les formes se ressemblent, les matériaux qui servent à les construire, mais ce qu'elles ont de divers, la multitude des types dont chacun veut être décrit à part et pose à la science un problème distinct.

Quoique des radicaux de structure, investis de fonctions sommaires, puissent subsister isolés, cette condition n'est pas la plus ordinaire. La plasticité des éléments les dispose à s'unir quand ils ont même forme et mêmes fonctions, comme on le voit par les assemblages homogènes de plastides qui constituent les réseaux cristallins ou les trames organiques, et mieux encore lorsque leurs formes et leurs fonctions diffèrent, car, adaptés les uns aux autres et liés par d'étroites solidarités, ils ne peuvent alors se produire et se conserver qu'à l'état de systèmes unitaires. De là résultent des séries de formes composées que caractérisent la convenance réciproque des parties et l'harmonie du tout. La plasticité détermine en ce cas des résultantes complexes et semble obéir à des lois d'ensemble. Au lieu de grouper uniformément des plas-

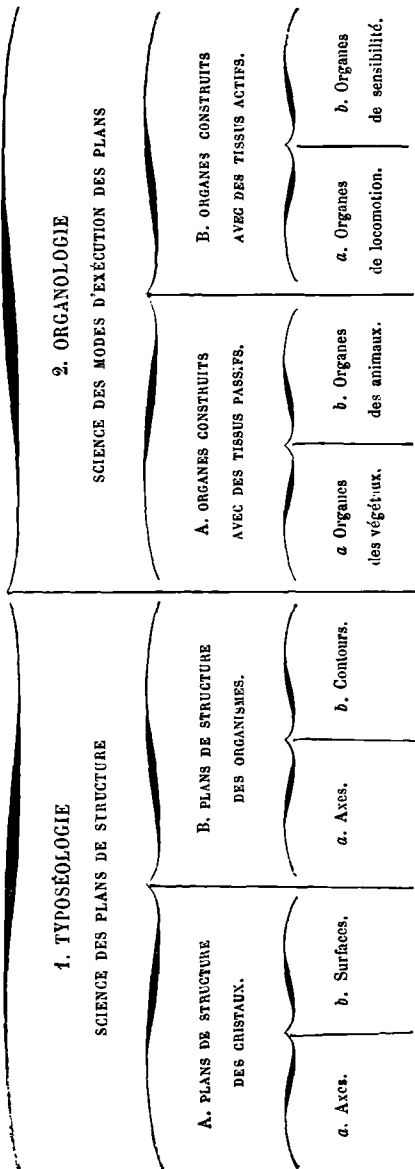
tides pareils, elle combine des matériaux dissemblables, exécute un plan et réalise des types d'espèce.

La multitude des éléments groupés dans une forme de dimensions moyennes est difficile à évaluer. On ne saurait fixer, même par approximation, la quantité de parcelles que la pulvérisation sépare dans un cristal, puisqu'on ignore leur exigüité réelle. A compter les cellules libres ou agrégées, dont le corps humain se compose, on dépasse vite ce que l'imagination peut concevoir. Un millimètre cube de sang contient environ 5 500 000 globules rouges. Les calculs de Vierordt et de Wilker portent à 60 billions le nombre moyen des hématies qui circulent dans le sang d'un adulte (Virchow, *Pathologie cellulaire*, p. 55). Le moindre de nos tissus renferme dans sa masse des myriades indéfinies d'éléments. On estime à 600 000 000 (Meynert), et même à plus encore (Beale) le nombre des cellules nerveuses accumulées dans la seule substance grise à la surface des hémisphères cérébraux. Comme chaque cellule sert de point d'attache à plusieurs fibres, ces éléments se compteraient par milliards. Si l'on entreprenait de supputer la somme des plastides de toute espèce qu'exprime l'unité de l'organisme, on trouverait à coup sûr un formidable total.

De telles associations d'éléments et leur disposition variable soulèvent des problèmes bien plus nombreux et plus complexes que ceux dont la Morphologie élémentaire trouve sans trop de peine la solution. Autant les matériaux de structure sont fixes, autant les modes de structure sont changeants. La plasticité, passant pour ainsi dire de l'état statique à l'état de mouvement, multiplie ses créations et se joue à des métamorphoses sans fin. Essayons de répartir avec ordre ce confus ensemble. Depuis Aristote, les naturalistes s'accordent à distinguer deux classes principales de formes qu'ils scrutent séparément : les cristaux ou anorganismes, et les organismes ou corps vivants. Ils partagent conséquemment la science en

MORPHOLOGIE SPÉCIALE

SCIENCE DES MODES DE STRUCTURE



crystallogie et organologie, puis subdivisent la seconde en botanique et zoologie. Mais, à procéder de la sorte, on scinde les groupes de choses au lieu de classer les phénomènes et, en place d'une science générale, on institue des sciences particulières. La Morphologie doit suivre une marche différente, considérer des formes abstraites plutôt que des réalités concrètes et faire porter ses analyses sur les degrés de la complexité plastique. En nous plaçant à ce point de vue, nous aurons à étudier, d'abord le plan de structure, qui trace les linéaments essentiels des types, bruts ou vivants ; ensuite l'exécution de ce plan, l'agencement des parties d'où résulte la spécialité de la forme et qui admettent, dans les règnes organiques, des variations infinies.

1. — TYPOSÉOLOGIE, SCIENCE DES PLANS DE STRUCTURE

Toute forme composée implique une disposition d'ensemble en rapport avec la nature et l'ordre de ses parties. Elle est l'effet d'une combinaison de lignes, de surfaces et de volumes qui lui assignent des dimensions, un contour, une figure. Sa grandeur se détermine, comme pour les solides de la géométrie, à l'aide de trois dimensions, longueur, largeur et profondeur. Ces lignes principales ou « axes » mesurent le développement de la forme dans l'étendue. Les contours circonscrivent le type et le délimitent. Avec ces données, qui constituent le « plan », une forme peut toujours être figurée et définie. Les éléments de structure ont, il est vrai, des conditions pareilles, mais on ne saurait en faire chez eux l'objet d'investigations suivies. D'une part, en effet, les plastides, invisibles ou à peine visibles, marquent plutôt le terme des mensurations praticables qu'ils ne leur offrent un champ de recherches ; de l'autre, dans les agrégats de plastides, l'Histologie examine seulement le mode d'assemblage qui est uniforme

et ne tient pas compte de la configuration totale dont l'extension en divers sens et les bornes variables sont indifférentes. Mais, quand il s'agit de décrire des formes complexes considérées comme tout-clos définis, la question de plan s'impose et prend une importance capitale. Son étude devrait être érigée en section distincte de la Morphologie spéciale sous le nom de « Typoséologie » (de τύπωσις, plan, dont le radical est τύπος, type).

Les modifications que comporte le plan de structure soit quant aux axes, soit quant aux surfaces limitantes, se répartissent en deux séries, suivant qu'il est établi dans le système rectiligne ou dans le système curviligne. Le premier type caractérise les corps bruts et le second les corps vivants.

A. — Plans de structure des cristaux.

On appelle « cristal » (κρύσταλλος, glace, de κρύος froid) tout corps polyédrique terminé par des faces régulières ou symétriques. Les composés définis prennent généralement une structure pareille quand ils passent de l'état fluide à l'état solide avec assez de lenteur pour que leurs éléments aient le temps de se distribuer dans l'ordre que la plasticité leur assigne. Lorsque cette force, troublée dans son œuvre par une prise trop brusque, ne réussit pas à coordonner ses matériaux comme l'exigerait un arrangement normal, les corps se solidifient dans un état demi-amorphe et leur cristallisation est confuse ou contrariée. Les cristaux véritables réalisent toujours un type déterminé dont la description comprend : 1° les axes qui mesurent les dimensions, et 2° les faces qui délimitent la forme.

a. — Les axes marquent le trait principal de la structure des cristaux. Ils résultent de l'ordre de collocation que prennent en s'agréant les molécules intégrantes.

Leurs dimensions sont d'ordinaire inégales à cause de la difficulté que trouvent ces éléments à s'équilibrer et à remplir l'espace d'une manière uniforme. Des disparités de grandeur ou de puissance les obligent, le plus souvent, à se ranger par files qui marquent les axes ou directions principales que suivent les molécules dans la formation des réseaux.

Comparés quant à leur longueur, les axes sont égaux ou inégaux, et, quant à leur direction, perpendiculaires ou obliques. En combinant ces données, six cas seulement peuvent se produire selon que les axes sont : 1° égaux et perpendiculaires les uns sur les autres ; — 2° perpendiculaires, mais deux seulement égaux ; — 3° tous égaux, sauf un, seul perpendiculaire ; — 4° tous rectangulaires et inégaux ; — 5° tous obliques, deux égaux ; — 6° tous obliques et inégaux. Les types ou « systèmes de construction » ainsi établis forment six genres cristallographiques : le cube, le prisme droit à base carrée, le prisme droit à base rhomboïdale, le rhomboèdre, le prisme oblique à base de losange, et le prisme à base de parallélogramme obliquangle.

b. — Comme les axes représentent l'élément fixe ou générique de la structure des cristaux, les surfaces en représentent l'élément variable ou spécifique. Il convient d'étudier en elles, d'une part les faces et les arêtes, de l'autre les angles.

Toutes les faces des cristaux sont planes. Il n'y a pas d'exemple d'un contour curviligne dans cette classe de corps. Lorsque, par exception, une face paraît concave ou convexe, cela tient à une agglomération locale de petits cristaux, à une multiplication de facettes dont chacune prise à part offre une planimétrie exacte. Les côtés (arêtes) sont conséquemment des lignes droites puisqu'ils correspondent à des intersections de plans.

Les angles des cristaux sont plans, dièdres ou solides,

suivant qu'ils résultent de la rencontre de deux arêtes dans un même plan, ou de celle de deux plans, ou enfin de celle d'un plus ou moins grand nombre de plans en un même point. On les mesure au moyen du « goniomètre ». Leur valeur est constante pour chaque espèce et lui sert d'indice. Ainsi, le cristal de roche et le spath d'Islande appartiennent l'un et l'autre au type rhomboédrique ; mais le premier cristallise sous un angle de $94^{\circ} 15'$, et le second sous celui de $105^{\circ} 15'$. Aucun autre cristal rhomboédrique ne présente le même angle. Les arêtes et les faces varient souvent par l'adjonction de faces adventices qui servent à différencier les formes secondaires.

Avec ces deux sortes de données, les axes et les surfaces, la conformation des cristaux se détermine entièrement. Si simple que paraisse ce mode de structure, la science en a tardivement reconnu les lois. On doit à Romé de Lisle la découverte de la fixité des angles et de la dérivation des formes cristallines. La constitution des types et la déduction géométrique des espèces furent peu après l'œuvre d'Haüy.

Les formes des cristaux sont généralement fixes. Elles dépendent de la composition des substances et des conditions de la prise. Sauf les cas de grand dimorphisme, les modifications qu'une forme cristalline peut subir se lient les unes aux autres, et il faut voir en elles moins des espèces que des variétés. Le carbonate de chaux, par exemple, cristallise sous plus de 800 formes différentes ; mais toutes se rattachent au parallépipède. L'eau congelée en neige présente plusieurs milliers de figurations (Glaisher) qui rentrent toujours dans le type hexagonal. Des influences inappréciables de température, de pression, de mouvement, etc., introduisent dans ces structures délicates des causes de changement. Néanmoins, les types ont une stabilité remarquable et, partout où les mêmes conditions se rencontrent, les mêmes formes se produisent. On les re-

trouve pareilles dans les régions du globe les plus distantes, à travers d'immenses périodes de durée, et cette uniformité de la création cristalline contraste avec le développement de la création vivante dont les types varient d'âge en âge et de place en place.

B. — Plans de structure des organismes.

Tandis que le plan de structure des cristaux est rectiligne et uniforme, celui des organismes est curviligne et comporte une diversité prodigieuse au point de vue soit du nombre et de la direction des axes, soit de la disposition des contours. Examinons-le sous ce double aspect, à l'étude duquel les naturalistes n'ont peut-être pas attaché autant d'attention que l'importance du sujet l'aurait demandé.

a. — Les axes des cristaux sont des lignes droites et leur nombre ne dépasse pas trois, quatre au plus dans un seul cas. Ceux des organismes sont ou peuvent devenir curvilignes; leur nombre n'est pas limité et leur disposition varie. Les formes élémentaires qui se rapprochent de la sphère ont, comme elle, des diamètres dans tous les sens. Quand elles se composent de parties différentes rangées dans un ordre symétrique elles ont un axe principal et des axes secondaires.

Chez les végétaux, organismes simples, construits avec une seule classe de tissus, l'axe principal est représenté par la tige. Il se subdivise souvent en bifurcations successives qui constituent les rameaux et se trouve indiqué jusque dans chaque bourgeon. C'est l'axe de croissance, déterminé par les deux directions opposées où les plantes se développent et qui, d'ordinaire, est vertical, à cause de leur tendance à chercher la lumière dans l'air et des éléments de subsistance dans le sol. Des axes secondaires,

qui se rattachent au principal, résultent de la disposition des organes et affectent fréquemment une forme rayonnante, comme on le voit par l'insertion des feuilles ou des parties de la fleur. Le type le plus commun parmi les plantes est une configuration pyramidale et radiée; mais il se prête à subir des flexions normales ou accidentelles et admet dans le détail des modifications nombreuses, difficiles à classer en raison de leur variabilité même. Aussi la taxinomie botanique tient-elle peu compte de cette donnée incertaine et se borne-t-elle à en noter dans l'embryon le trait essentiel.

L'animal, organisme complexe et pour ainsi dire double, puisqu'il est construit avec deux sortes de tissus et remplit deux ordres de fonctions, a deux axes principaux, conjugués, le long desquels se coordonnent, d'une part les organes de la vie de nutrition, de l'autre ceux de la vie de relation. L'attribut distinctif des animaux étant la motilité, la disposition du plan se lie aux conditions de mouvement et change avec elles. Au début de cet ordre de recherches, Cuvier et Von Baer avaient établi quatre types de structure : 1° le type radiaire, qui rappelle celui des plantes et consiste en un axe longitudinal autour duquel se disposent sur un plan transversal les organes qui rayonnent en tous sens; — 2° le type des mollusques en masse arrondie, avec asymétrie de structure; l'axe se contourne et forme une ligne courbe; — 3° le type des articulés, à symétrie simple; les organes pareils sont situés de chaque côté de l'axe, une seule cavité contenant les viscères et le système nerveux; — 4° enfin, le type des vertébrés, caractérisé par une symétrie double et développé dans deux directions. Ces quatre types constituaient les embranchements de la classification zoologique. Depuis Cuvier, une étude plus attentive a fait porter leur nombre à six, d'abord par le dédoublement des rayonnés en zoophytes et en échinodermes, ensuite par celui des articulés en vers et en arthropodes.

Ce système, ainsi présenté, a l'inconvénient de séparer trop nettement les plans de la structure animale, d'isoler chacun d'eux, de montrer seulement les dissemblances et de ne pas laisser entrevoir les analogies, les rapports de dérivation possible. La théorie de M. Perrier sur la formation des organismes composés par le moyen de colonies permet de relier les types et d'établir des transitions. En tenant compte des conditions d'existence et d'activité, on pourrait distinguer avec lui deux types principaux auxquels les autres se ramènent par séries : l'un arrondi, où les organes se disposent autour d'un centre ; l'autre allongé, où ils se disposent le long d'une ligne. Le premier comprendrait les classes d'êtres dont la configuration est sphéroïdale ou radiaire, suivant que l'individu simple, fondateur de la colonie, flottait au sein des eaux et s'y mouvait en tous sens, ou que, fixé au sol sous-marin, il avait, par le développement circulaire de ses bourgeons, pris une forme radiée. Le second type est propre aux animaux dont l'ancêtre primitif, resté libre, mais non flottant, et entraîné par son poids au fond des eaux, dut s'y développer en longueur avec face ventrale et face dorsale, partie antérieure et partie postérieure, côté droit et côté gauche. La pesanteur, qui le comprimait à terre, lui imposait en effet un haut et un bas ; l'obligation de chercher sa subsistance par un mouvement de progression impliquait l'opposition d'un devant et d'un derrière ; enfin, par suite de la disposition des pédicules, il avait une droite et une gauche. De là devait résulter un type à symétrie bilatérale dont l'axe fut, non plus vertical comme chez les plantes, mais horizontal. A ce type général appartiennent les articulés, les mollusques et les vertébrés. Sa forme la plus élémentaire est celle des annelés dont les segments (zoonites), placés bout à bout et simplement raccordés, rappellent le mieux l'idée d'une colonie. Des annelés ont pu provenir : 1° le type asymétrique des mollusques ; 2° le type symétrique des arthropodes et des vertébrés.

La disposition spéciale du premier paraît due à ce que les animaux de ce groupe, généralement mous (« *mollusca* »), sont contenus, soit transitoirement, soit à demeure, dans une coquille où l'organisme, contraint de se pelotonner sur lui-même, ne pouvait plus conserver la régularité de sa structure. Un développement plus libre a fait sortir du type longitudinal des annelés : 1° le groupe des arthropodes dont la symétrie est simple; et 2° celui des vertébrés, à symétrie double. (V. E. Perrier, *Cours du muséum*, et *Les colonies animales*, 1881).

Outre un axe principal, les animaux ont des axes secondaires qui se bifurquent et s'articulent dans les membres et les organes. Enfin, ces axes varient suivant les états de repos ou de mouvement. Ils perdent toute fixité durant l'action et figurent alors des lignes serpentine dont la direction change continuellement.

b. — Les surfaces limitantes des organismes sont un indice plus apparent et plus fréquemment consulté que les axes, quoique moins significatif. C'est surtout par lui que nous préjugeons les formes à première vue. La variété des contours est prodigieuse chez les êtres vivants. Les surfaces qui les circonscrivent sont généralement courbes et susceptibles par conséquent de modifications infinies. L'organisation réalise la plupart de celles que les géomètres ont figurées et passe des unes aux autres par degrés. Ce mode de limitation est ici un caractère essentiel qui tient à la nature des éléments plastiques et, de même qu'on n'a pas d'exemple d'un contour curviligne parmi les cristaux, on n'en trouve aucun de contour rectiligne chez les corps organisés.

Peut-être conviendrait-il de distinguer dans le détail les formes extérieures des végétaux, relativement simples et persistantes, et celles des animaux, plus complexes et muables. Les premières présentent communément une apparence globulaire (semences...); cylindrique (tiges...),

ou discoïde (feuilles...). Les secondes revêtent les configurations les plus variées. Elles diffèrent en outre pour un même type par suite des mouvements que son activité comporte. Rien n'est aussi changeant que les attitudes des animaux supérieurs. Les arts du dessin s'appliquent à reproduire les aspects les plus expressifs de la forme humaine sans pouvoir parvenir à en épuiser la diversité.

En raison de la flexibilité des axes et de l'ondoyante variabilité des contours, le plan de structure admet dans les deux règnes organiques des modifications si étendues que l'analogie des types disparaît pour ainsi dire sous la richesse de leurs développements. La science n'a pas encore établi ces notions fondamentales avec une précision suffisante et cela contribue à rendre incertain le classement soit des plantes, soit des animaux.

Ainsi, le plan de structure détermine, dans les deux séries de formes composées, les directions principales où se développe la force plastique et les limites où s'arrête son action. Avec ces données, on a les traits essentiels de la configuration des choses, l'aire sur laquelle l'édifice se construit. Pour les cristaux, la connaissance du plan est celle de la conformation entière, car les anorganismes, agrégats uniformes de matériaux identiques, ne peuvent varier qu'en dimensions et sont définis par la mesure des axes, des angles et des faces. Les éléments dissemblables des organismes se groupent diversement dans le détail et l'on doit alors examiner, outre le plan de structure, la disposition des organes qui achève la construction. Le type n'est donc plus ici qu'un point de départ, une indication sommaire qui a besoin d'être complétée par d'autres recherches, le même plan pouvant être exécuté d'une foule de façons. Là se posent des problèmes sans nombre

que la Morphologie spéciale est tenue de résoudre séparément.

2. — ORGANOLOGIE, SCIENCE DES MODES D'EXÉCUTION
DES PLANS DE STRUCTURE

Sous le nom vague d'« organismes » l'usage confond tous les êtres vivants; mais il serait plus rationnel d'appeler seulement ainsi ceux qui se composent d'« organes » divers. Les organismes véritables constituent, en effet, par opposition aux cristaux, assemblages réguliers de particules semblables, et aux protistes, réduits à une cellule unique ou faits d'un tissu homogène, une série particulièrement complexe et variable de corps qui ont pour caractère distinctif des dissemblances de parties et des spécialités de fonctions. La différence entre ces deux classes de formes peut être comparée à celle qui, en Dynamique, sépare les deux modes de mouvement, l'un direct et limité, l'autre circulaire et continu; en Physique, les actions rayonnantes et les actions de courant; ou en Chimie les composés définis et les composés indéfinis.

L'Organologie, science de l'organisation, serait en partie représentée par ce qu'on appelle « anatomie descriptive. » Mais la signification de ce terme est ordinairement restreinte à l'étude des organismes animaux. Il faudrait y comprendre aussi celle des organismes végétaux, avec d'autant plus de raison que les moyens d'investigation sont identiques dans les deux règnes. L'anatomie s'est constituée bien avant l'histologie. Galien (*De usu partium*) marque le niveau de ses connaissances chez les anciens. L'anatomie moderne date de Vésale (*De corporis humani fabricâ*, 1543). Longtemps bornées à l'étude de l'homme et des animaux supérieurs, ses recherches n'ont abordé qu'à une époque récente celle des animaux inférieurs et des plantes. L'ensemble de la création organique constitue un champ d'ex-

ploration immense. Quelques chiffres donneront une idée, mais non la mesure, de la multiplicité des formes à scruter. Nos catalogues actuels énumèrent environ 120 000 espèces de plantes et 220 000 d'animaux¹. Toutefois, ces nombres sont loin d'être définitifs et chaque voyage d'exploration les accroît. M. de Candolle estime à 400 000 le nombre probable des espèces de végétaux répandus dans le monde. Le total, même supposé complet, des types vivants ne représenterait encore que la flore et la faune présentes, c'est-à-dire un stade momentané dans l'évolution continue des êtres organisés. La paléontologie, science née d'hier, a déjà pu reconstituer plus de 400 000 espèces d'animaux (Gervais, *Zoologie*, p. 303) et 6 000 plantes fossiles (Schimper, *Paléontologie végétale*). Ce n'est là qu'une fraction bien petite des créations successives que, depuis l'origine de la vie, le globe a vu s'épanouir à sa surface. De plus, chaque espèce prise à part admet des différences de race, de sexe, parfois des alternances de génération. Les individus mêmes parcourent des phases changeantes, se transforment et subissent, de la conception à la mort, d'incessantes modifications. Enfin chaque forme prise à un moment donné se compose d'un ensemble d'organes dont la structure, étudiée en détail, offre parfois une complication étonnante. Telle est la vaste série de faits que l'Organologie aurait à décrire.

Un sujet si plein de diversité veut être réparti avec ordre. On distingue ordinairement l'Organologie végétale et l'Organologie animale; mais cette division porte sur des collections d'êtres plutôt que sur des classes de faits et ne met pas en lumière les analogies des deux groupes de formes. Si, en effet, les animaux diffèrent des végétaux par un système d'organes actifs, ils leur ressemblent par

1. 3000 mammifères, 10 000 oiseaux, 2000 reptiles ou amphibiens, 10 000 poissons, 10 000 crustacés ou arachnides, 160 000 insectes, 2 000 mollusques, 6000 vers...

un système d'organes passifs qu'il importerait d'étudier dans une même section. Guidés par la considération de cet indice, nous diviserons les organes en deux groupes principaux suivant qu'ils sont construits avec des tissus élémentaires peu modifiés (tissu cellulaire et ses dérivés directs), ou qu'ils admettent en outre des tissus complexes profondément modifiés (tissus cartilagineux, osseux, musculaire et nerveux). Les premiers pourvoient aux fonctions de la vie « végétative », c'est-à-dire de nutrition et de reproduction, également accomplies par les plantes et les animaux; les seconds président à celles de la vie « animale » ou de relation, dont les êtres animés ont le privilège. Ce mode de répartition aurait ainsi l'avantage de concorder avec la division des éléments plastiques et avec celle des fonctions.

A. — Organes construits avec des tissus passifs et affectés à la vie de nutrition.

Les organes de cette série, qui assurent la conservation des êtres, sont le fondement de la structure organique. Ils se retrouvent dans les deux règnes végétal et animal, mais ils revêtent dans chacun d'eux, par suite même de la disparité des éléments et des plans de construction, des formes spéciales dont il convient de faire un examen séparé. Les plantes se composent de tissus faiblement différenciés et l'ordre de collocation de leurs organes, en relation avec le milieu, est tout en dehors. Au contraire, les animaux, construits avec deux sortes de tissus, font eux-mêmes leur milieu vital et l'appareil qui l'élabore est à l'intérieur. De là résulte, par rapport à l'axe, une disposition inverse des organes qui, excentrique ou superficielle chez les plantes, est concentrique ou interne chez les animaux. Les conditions de structure doivent par cela même différer. En outre, dans chacune des deux séries,

on aurait à distinguer les organes de nutrition, consacrés à la conservation des individus, et ceux de reproduction, qui procurent celle des espèces.

a. — A raison de leur simplicité de structure, les organes nutritifs des plantes se bornent à remplir des fonctions d'absorption ou d'exhalation. Chez les végétaux rudimentaires que baigne uniformément le milieu liquide, l'imbibition et l'exsudation s'opèrent par tous les points de la surface. Il en est ainsi des algues. Ces fonctions se divisent ensuite à mesure que l'organisme se complique. Les plantes possèdent alors des radicelles et des spongioles, organes d'absorption qui plongent dans le sol humide; des feuilles, organes de respiration aérienne; des canaux où circule la sève; des glandes où s'effectuent des sécrétions ou des excréments particulières. Diverses parties servent de support ou de protection (tige, racines, écorces, vrilles, piquants, etc.). Malgré leur diversité plastique, ces organes sont si peu spécialisés qu'ils se suppléent à l'occasion, varient insensiblement et ne fournissent pas à la science des caractères suffisants pour établir, sur la considération de leurs différences, une classification méthodique des végétaux.

Ceux de reproduction sont à la fois plus fixes et mieux définis. Aussi la Taxinomie les consulte-t-elle de préférence pour distinguer les espèces, comme l'atteste le nom général de « Flore ».

Les plantes les moins parfaites, dépourvues d'organes apparents de génération, sont appelées « cryptogames ». Leur multiplication s'accomplit soit au moyen de simples cellules (zoospores), soit, en cas de sexualité, par des germes (oophores) que fécondent des « anthérozoides ». La reproduction plus complexe des « phanérogames » donne lieu, d'une part, dans le système gemmipare, à une émission de bourgeons, scions, bulbes, caïeux, etc., dont le rôle est considérable chez un grand nombre de végétaux; de

l'autre, à la formation d'organes floraux (ovaires, pistils, étamines), plus ou moins compliqués d'appendices (calice, corolle...), et dont le produit final est la graine ou semence, recouverte d'enveloppes protectrices et pourvue d'un ou de deux cotylédons. Dans la plupart des plantes, les deux sexes sont réunis sur le même organe ; chez quelques-unes, ils sont séparés dans des fleurs distinctes sur le même pied (monoïques) ; chez d'autres enfin, ils appartiennent à des pieds différents (dioïques).

b. — En ce qui concerne les fonctions nutritives, l'organisme animal offre un développement bien supérieur à celui de l'organisme végétal. Le travail se répartit entre des organes mieux spécialisés qui doivent, non plus simplement absorber des substances alibiles diluées, mais élaborer des aliments divers et les transformer en un liquide nourricier de composition constante.

Au plus bas degré de la série, les protozoaires manquent d'organes digestifs et leurs échanges de substance s'opèrent directement avec le milieu par une absorption et une perspiration d'éléments liquides. Chez les amibes et les rhizopodes, on voit apparaître une première ébauche de cavité digestive. Ces êtres rudimentaires, sans forme permanente, englobent l'aliment solide dans une cavité transitoire qui se creuse autour de lui, l'enveloppe jusqu'à ce qu'il soit dissous et s'efface après expulsion du résidu. A ces organes de circonstance succèdent, chez quelques infusoires, des cavités fixes où la digestion s'accomplit. L'estomac, ainsi constitué, représente la pièce essentielle de l'organisme animal, puisqu'elle pourvoit au plus impérieux de ses besoins. Tous les autres appareils dépendent de celui-là et l'homme lui-même, malgré de sublimes préentions, n'est qu'un estomac compliqué d'appendices, un tube digestif très perfectionné. Au début, la poche stomacale se trouvait réduite à une seule ouverture pour l'entrée des aliments et la sortie de leurs résidus (*monostomata*

de Huxley); elle se perfore ensuite et devient tube avec entrée pour l'ingestion et sortie pour l'égestion (*deuterostomata*, Huxley). Ce tube, ultérieurement modifié, arrive à comprendre une bouche, un pharynx, un ou plusieurs estomacs, des intestins... Divers organes accessoires s'y ajoutent : lèvres pour saisir les aliments, dents pour les déchirer, les couper ou les broyer, langue pour faciliter la mastication et la déglutition... Plusieurs sortes de glandes concourent en outre, par leurs sécrétions, au travail digestif : les glandes salivaires sécrètent la salive dont la ptyaline remplit une fonction chimique; les glandes muqueuses, le suc gastrique dont la pepsine agit comme ferment spécial; le pancréas, le suc pancréatique dont la pancréatine dissout par émulsion les substances amylacées, grasses ou azotées; enfin, le foie produit la bile et des éléments glyco-gènes...

Aux organes propres à convertir les aliments solides en un liquide assimilable se joignent des organes chargés de le répandre dans toute l'économie. Chez les plantes, la sève se déplace lentement par un effet d'osmose ou de suction que favorisent l'évaporation des feuilles et les alternances de température. Chez les animaux les plus simples, le fluide nourricier est entraîné par des courants dus à des contractions sarcodiques. A un degré moins abaissé d'organisation, un système de canaux gastro-vasculaires fait communiquer la cavité digestive avec diverses parties de l'organisme. Un réseau régulier de circulation commence à se dessiner chez les annelés. Puis, un des vaisseaux s'élargit, devient contractile et forme l'ébauche d'un cœur, muscle puissant et infatigable qui sert d'irrigateur mécanique. Le système circulatoire, imparfait chez les invertébrés, se complète chez les vertébrés. Réduit à un point pulsatile dans le type initial de l'amphioxus, le cœur acquiert dans la classe des poissons une oreillette et un ventricule distincts. Les reptiles possèdent trois cavités cardiaques; les oiseaux et les mammifères, quatre. Une double circulation

s'effectue alors par un système d'artères et de veines qui, à leurs ramifications extrêmes, communiquent par des vaisseaux capillaires.

A mesure que la circulation se développe et que, au terme d'un plus long parcours, le sang revient plus appauvri à son point de départ, des organes sont chargés de revivifier ses éléments altérés. Les animaux rudimentaires absorbent par leur surface l'oxygène indispensable à la combustion vitale. Un premier indice d'organe respiratoire se montre chez les annelés sous forme de branchies dont la disposition se reproduit dans les trachées des insectes. Le système branchial se perfectionne chez les mollusques et surtout chez les vertébrés aquatiques. Enfin le système pulmonaire, qui, chez les amphibiens, alterne d'abord avec le précédent, prévaut ensuite et l'exclut chez les vertébrés aériens.

Divers organes de sécrétion ou d'excrétion s'acquittent de fonctions annexes, soit en élaborant des liquides nécessaires au fonctionnement de certaines parties de l'organisme (glandes lymphatiques, lacrymales, synoviales...), soit en éliminant les produits de la désassimilation, afin de maintenir, par une épuration constante, l'équilibre de composition du sang. Les plus importantes des glandes excrétoires sont les reins et les glandes sudoripares. La rate, dont le rôle est resté si longtemps obscur, remplirait, d'après les recherches de MM. Picard et Malassez, une fonction hématopoïétique, en contribuant à la formation des globules rouges et de l'hémoglobine.

Enfin, des organes particuliers sont consacrés aux fonctions reproductrices. Alors que la génération des plantes est extérieure, comme leur nutrition, ce qui permet aux vents et aux insectes d'être les agents ordinaires de leur fécondation, celle des animaux est le plus souvent interne, et cette condition exige des organes mieux appropriés. Les animaux rudimentaires pourraient recevoir, au même titre que les végétaux les plus simples, le

nom de cryptogames, car, dépourvus d'appareil spécial, ils se multiplient par scission spontanée de leur substance homogène dont chaque partie détachée conserve les propriétés de l'ensemble, continue de vivre et évolue à son tour. Lorsque les organismes se composent de parties dissemblables, la fonction se localise. Alors apparaît un système de bourgeons analogue à celui des plantes, qui constitue la gemmiparité et rend compte de la parthénogénèse. Un nouveau progrès amène la formation de sexes distincts chargés de produire, l'un les ovules, l'autre les spermatozoaires. Les deux sexes, d'abord portés par le même individu comme en général chez les plantes, se séparent ensuite et l'unisexualité remplace l'hermaphroditisme originel. La production de l'ovule, sa fécondation, sa gestation, enfin l'allaitement des petits que les « mammifères » mettent au monde vivants, impliquent des particularités de structure qui se perfectionnent de groupe en groupe dans la série.

Les deux classes d'organes que nous venons d'indiquer et dont les fonctions dérivent d'une même propriété fondamentale des tissus passifs, ont adapté la vie des plantes et celle des animaux à des conditions variables de milieu, garanti la conservation des individus et assuré la régénération des types d'espèce. Mais l'organisation des animaux, plus complexe que celle des plantes, les pressait de plus de besoins et leur imposait, pour y subvenir, des relations multipliées. De là résulte un nouveau système d'organes appropriés à un nouvel ordre de fonctions.

B. — Organes construits avec des tissus actifs et affectés à la vie de relation.

Doués de l'irritabilité fonctionnelle comme les tissus passifs le sont de l'irritabilité nutritive, les tissus actifs

servent à la construction d'organes parmi lesquels on doit distinguer ceux qui développent ou appliquent l'action motrice et ceux par lesquels se produisent les manifestations psychiques.

a. — Bien que les plantes ne soient pas dépourvues d'une motilité restreinte, elles manquent d'un appareil apte à dégager de la puissance motrice. D'après les recherches de M. Bert, les mouvements périodiques des feuilles et des fleurs sont dus à des « renflements moteurs » où la glycose se forme sous l'influence de la lumière et se décompose dans l'obscurité. Ses variations de quantité ou d'hydratation déterminent divers degrés de tension qui expliquent la tonicité de l'organe ou son défaut d'énergie et, grâce à ces alternances, rendent de petits mouvements possibles. Mais il n'y a rien là qui ressemble, même de loin, à la contraction musculaire. L'appareil moteur des animaux comprend un système neutre réduit à des fonctions mécaniques et un système actif qui accumule et dégage la puissance.

Les tissus cartilagineux et osseux constituent les matériaux d'organes qui servent de support ou de protection à des parties de l'organisme, de point d'attache aux muscles et d'engins propres à augmenter l'amplitude ou à varier la direction des mouvements. Dans la faune inférieure des concrétions, telles que le test des mollusques, l'os intérieur des céphalopodes, le tégument des arthropodes...., sont une première esquisse de charpente. Les « vertébrés » ont un squelette articulé, d'abord cartilagineux, puis osseux, auquel ils doivent une part de leur supériorité organique et qui a servi à les dénommer. L'ostéologie fait une étude détaillée de ce système. Des tendons et des ligaments transmettent la force ou maintiennent les organes.

L'appareil véritablement moteur est construit avec des éléments musculaires. Les animaux les plus simples,

réduits à une substance homogène, uniformément contractile, se déplacent sans organes spéciaux par des mouvements « sarcodiques ». Ainsi les amibes « diffluentes » émettent et rétractent des appendices transitoires (« pseudopodies ») qui font varier continuellement leur forme. Des cils vibratiles constituent les premiers organes permanents de locomotion. Ils apparaissent dans la classe des infusoires et persistent jusque dans celle des vers. On les retrouve même chez les animaux supérieurs dont ils tapissent les membranes muqueuses. L'appareil contractile se spécialise chez les échinodermes sous forme de tube sous-tégumentaire à fibres régulièrement disposées. Les mollusques se meuvent d'abord, durant la phase embryonnaire, à l'aide de cils vibratiles; mais ils présentent ensuite, dans l'âge adulte, une enveloppe musculaire superficielle comme les échinodermes. Ils ont en outre des muscles distincts, à fibres striées, qui se contractent sous l'action de la volonté et servent à ouvrir ou à fermer les valves des coquilles. L'enveloppe contractile disparaît chez les arthropodes et les fibres se groupent en muscles déterminés. Les insectes en possèdent un plus grand nombre que les vertébrés; toutefois cette richesse n'est pas un indice de supériorité organique et tient au défaut de fasciculation des éléments musculaires, restés indépendants au lieu d'être unis. La faune inférieure n'a guère que des fibres lisses dont le rôle se borne, chez les animaux supérieurs, à la mise en jeu des organes nutritifs et n'est susceptible de produire que des mouvements lents et automatiques. La motricité active et volontaire des organismes les plus parfaits est due à un système très développé de muscles faits de fibres striées. Ces organes, analogues aux leviers, se classent comme eux, par la considération du rapport entre le point d'appui, la résistance et la puissance, en 1° intermobiles (le point d'appui étant entre la puissance et la résistance); 2° interrésistants (où la résistance se trouve placée entre le point

d'appui et la puissance); et 3° interpuissants (où la puissance s'applique entre le point d'appui et la résistance). On les divise d'après leur forme, en courts, longs et plats. Leur nombre et leur mode d'insertion varient selon les espèces. Chez l'homme, moins de 500 muscles suffisent à produire tous les mouvements.

b. — Organe de la sensibilité générale, l'appareil d'innervation constitue le trait distinctif de la structure des animaux, et leur assure, par l'exercice de facultés psychiques, une incomparable prééminence dans l'ensemble de la création vivante. Le système nerveux comprend : 1° les organes des sens, situés à la périphérie de l'organisme et destinés à recueillir les impressions du monde extérieur; 2° les organes internes, chargés de transmettre ces excitations à des centres, de les convertir en incitations motrices, enfin de transmettre aux muscles l'action qui les force à se contracter.

Des sens spéciaux mettent les êtres animés en rapport avec leur milieu. Ils sont différemment construits selon la nature des informations qu'ils doivent procurer. Le tact, le plus simple et le moins particularisé de tous, enveloppe l'organisme, le protège et l'avertit de la présence des corps étrangers. La peau, qui lui sert d'organe, se compose 1° d'une couche superficielle de cellules passives (épiderme) dont les écailles, les ongles, les plumes ou les poils sont la dépendance; et 2° d'une couche interne (derme), molle et muqueuse, qui contient des vaisseaux, des nerfs, des corpuscules tactiles, des glandes sudoripares et des glandes sébacées. Le toucher, diffus dans la peau, se localise et s'affine dans divers organes représentés d'abord par les tentacules buccaux des anthozoaires et les prolongements sétiformes des mollusques, puis, chez les articulés, par des palpes ou des antennes d'une construction très variée. Chez les mammifères, le tou-

cher actif s'exerce principalement par les lèvres la langue et les mains.

Dans un état d'extrême simplicité, le sens du goût se confond peut-être avec le toucher, et reste indistinct chez tous les invertébrés. Ils ne doivent pourtant pas en être dépourvus, car ils savent très bien discerner et choisir leurs aliments; mais on n'a pas encore reconnu le siège de leurs impressions gustatives. Le goût n'a d'organe bien déterminé que chez les vertébrés, munis d'une langue où s'épanouissent des papilles nerveuses. Très, imparfait chez les poissons et les reptiles, presque nul chez les oiseaux, il acquiert chez les mammifères une grande délicatesse.

Le sens de l'odorat, problématique dans la faune inférieure, apparaît sous forme de baguettes olfactives chez les hirudinés et les mollusques céphalopodes. Les antennes des articulés semblent cumuler la double fonction de sens du toucher et de sens d'olfaction. L'organe, mieux spécialisé dans l'embranchement des vertébrés, consiste en fossettes cérébrales tapissées d'épithélium vibratile que traversent des filets nerveux. Toutefois, la perfection du sens olfactif ne coïncide pas, dans la série, avec la supériorité de l'organisation générale et nombre d'animaux surpassent l'homme à cet égard.

On ignore si, chez la plupart des invertébrés, le sens de l'ouïe existe. Le mutisme de la faune inférieure porterait à en douter. Cependant quelques groupes (échinodermes, vers, mollusques), paraissent, quoique aphones, le posséder sous forme de capsule contenant des concrétions solides. L'organe auditif des articulés présente une structure variable assez mal connue. Celui des vertébrés se compose d'une vésicule cérébrale plus ou moins complexe. L'oreille des poissons, réduite au vestibule et aux canaux demi-circulaires, est fort incomplète et doit percevoir des bruits plutôt que des intonations. Dans les classes supérieures, le sens de l'ouïe comprend : l'oreille externe

destinée à capter les sons; l'oreille moyenne, constituée par la caisse du tympan et traversée par une chaîne d'osselets; enfin, l'oreille interne qui consiste en une ampoule pleine de liquide et renfermant des otolithes. Là s'étend un réseau serré de filets nerveux. L'organe de Corti, logé dans la cloison du « limaçon », compte chez l'homme environ 3 000 arcs parallèles et de longueur décroissante comme les cordes d'une harpe. On les suppose destinés à filtrer les sons. Ils nous font percevoir 3 000 degrés sur les sept octaves qui mesurent notre échelle musicale.

La structure du sens de la vue est celle d'un appareil transparent et réfringent propre à concentrer les rayons lumineux sur les expansions du nerf optique. Les plantes sont impressionnées par la lumière; mais leur sensibilité à son égard est purement chimique. Il en est sans doute de même des animaux les plus simples. Une expérience de M. Bert montre que des infusoires, épars dans un vase obscur, se réunissent sur le rayon de lumière qu'on y fait tomber et manifestent même des préférences de couleur. L'organe spécial de la vision se réduit d'abord à une tache pigmentaire recouvrant un filet nerveux. Il présente cette disposition chez les méduses. On distingue chez les planaires des bâtonnets optiques et des cônes cristallins, première ébauche de lentille. Les mollusques sédentaires sont privés d'yeux, mais les céphalopodes en possèdent. Ceux des crustacés et des insectes offrent une conformation particulière qui les rend surtout efficaces pour la vision à de très courtes distances. Ils sont réticulés ou à facettes et le nombre de ces éléments oculaires est souvent considérable. D'après l'opinion qui prévaut parmi les naturalistes, chaque facette explore une partie distincte du champ visuel et l'animal ne perçoit que des fragments de l'ensemble (vision en mosaïque de Müller). L'œil mieux unifié des vertébrés en donne l'impression coordonnée et se prête à la vision lointaine. Il se compose d'un globe fibreux

formant chambre obscure, au fond de laquelle d'innombrables filaments nerveux (environ 250 000 chez l'homme suivant Helmholtz) s'épanouissent dans la rétine. L'impression que produisent les vibrations de l'éther est subie par des bâtonnets et des cônes dont les longueurs inégales sont en rapport avec celles des ondes qui correspondent aux couleurs. Ces vibrations arrivent jusqu'à eux par l'ouverture de la pupille, à travers la cornée, le cristallin et l'humeur aqueuse. Des paupières protègent cet organe délicat et rendent son occlusion facultative.

Après les organes externes, collecteurs de sensations, il convient d'étudier l'appareil interne où ces causes d'excitation, transmises à des centres, y sont perçues et transformées en incitations motrices. Rien d'analogue n'existe chez les plantes. Les protistes, quoique doués de motilité, ne laissent non plus discerner aucune trace de système nerveux. Des linéaments que Cuvier appelle « indistincts » se montrent chez les zoophytes et se réduisent à des lambeaux disséminés dans les tissus sous forme de réseaux indépendants de fibrilles reliant des centres microscopiques. L'appareil d'innervation se développe ensuite avec une perfection croissante dans la série et aucune autre classe d'organes ne mérite autant d'attention quand on veut marquer les degrés de la hiérarchie animale. Cependant son étude, hérissée de difficultés, est toute récente. Les opinions sur la nature du système nerveux ont longtemps flotté entre des pressentiments justes, mais hypothétiques, et de prodigieuses erreurs. Hippocrate tient que « le cerveau est l'interprète de l'intelligence » (*Œuvres*, édit. Littré, t. VI. p.387, *De la maladie sacrée*); mais Aristote le regarde comme un simple appareil de réfrigération pour le sang (*De historia animalium*, t. I, ch. 7). Galien professa des théories assez exactes auxquelles on n'a presque rien ajouté jusqu'au xix^e siècle. Descartes, reprenant les indications de Galien, émit le premier quelques vues de génie sur ce grand sujet. Au xviii^e siècle, l'ignorance

était encore telle à cet égard que Buffon pouvait tenir ce qu'il appelait dédaigneusement « la cervelle » pour une substance muqueuse sans importance, et Haller, exposant en neuf volumes les éléments de la Physiologie (*Elementa physiologiæ*), consacre à peine à l'étude des fonctions du système nerveux 138 pages (T. IV, p. 269 à 357 et p. 357 à 409) dont rien ne subsiste aujourd'hui. Gall a été l'initiateur aventureux de recherches poursuivies de nos jours avec un intérêt passionné. La névrologie doit examiner, d'une part, les organes de transmission qui propagent jusque dans les centres les excitations périphériques ou qui communiquent aux muscles les incitations consécutives de ces centres; de l'autre, les centres où la transformation s'opère.

Nous avons vu que les nerfs se classent en sensitifs et en moteurs sans qu'aucune différence morphologique appréciable les distingue. Les premiers partent des sens et aboutissent au cerveau. Chaque organe a les siens. Ceux du tact sont le moins spécialisés. Ils ressemblent aux nerfs qui desservent les organes intérieurs, et, en raison de cette similitude, le toucher, sens diffus, paraît être un simple mode de la sensibilité générale qui s'arrête et se détermine à la surface du corps. Les nerfs des autres sens, mieux adaptés à un rôle défini, représentent une sorte de prolongement du cerveau et ne sont susceptibles de transmettre que la sensation propre à l'organe dont ils dépendent. — Avec une structure pareille, les nerfs moteurs ont une fonction inverse; ils partent des centres, aboutissent aux muscles et les subordonnent à l'action de la volonté. Les nerfs vaso-moteurs, reconnus par Cl. Bernard, règlent automatiquement le jeu des vaisseaux sanguins et mettent la circulation en harmonie avec les autres fonctions. Ils se subdivisent en « dilatateurs » et en « contracteurs ». Enfin, des nerfs « sécréteurs » ou « glandulaires » président au fonctionnement des glandes.

Les centres nerveux constituent les organes récepteurs

où arrivent les excitations sensoriales et d'où partent les incitations motrices après une transformation que signale le phénomène psychique. Ces organes, les plus complexes par leur structure et les plus spéciaux par leurs fonctions, comprennent le système ganglionnaire et le système cérébro-spinal.

L'organisation nerveuse débute par des cellules éparses comme on en constate chez les animaux les plus imparfaits. Un premier degré de concentration de ces éléments amène la formation de ganglions isolés. Ainsi, les mollusques inférieurs sont réduits à un ganglion unique avec filets divergents. Les lamellibranches ont un système de ganglions reliés par des fibres. Ces ganglions deviennent inégaux, parfois bilobés chez les gastéropodes, et leur coalescence est encore mieux indiquée chez les céphalopodes, qui occupent le sommet de ce groupe. Les vers les plus simples ont une paire de ganglions pharyngiens, centre principal d'innervation qui s'élargit ensuite chez les annélides et les arthropodes, prend la figure d'un anneau et se prolonge en cordon abdominal. On trouve aussi, chez les animaux supérieurs, des ganglions soit isolés, soit associés, mais restreints à des fonctions subalternes. Les premiers sont disséminés dans les tissus et provoquent, par un mécanisme d'actions réflexes, les mouvements des organes de nutrition. Des centres pareils déterminent les mouvements péristaltiques des intestins, les battements du cœur, les contractions des artères, etc.— Le « grand sympathique » des vertébrés constitue un réseau de ganglions coordonnés qui régissent en commun les fonctions de la vie végétative.

Le système « cérébro-spinal », particulier aux vertébrés, est l'organe des plus hautes manifestations de l'activité psychique. La moelle épinière rappelle encore les chaînes longitudinales de ganglions que possèdent les articulés et dont les nœuds correspondent aux organes de locomotion ou de défense; mais elle établit entre ses éléments

une solidarité plus étroite. On la regarde comme une confédération de ganglions non plus seulement connexes, mais fusionnés en forme de cordon continu. Les centres ganglionnaires primitifs se laissent aisément reconnaître dans les renflements que présente la corde vertébrale des poissons. Là même où toute trace de suture a disparu, les anatomistes inclinent à présumer des centres distincts partout où émergent des paires de nerfs, analogues supposés des filets ganglionnaires. Dans l'homme, la colonne vertébrale, avec ses trente-et-une paires de nerfs spinaux, représenterait conséquemment trente-et-un ganglions unis qui conservent une indépendance relative quoique remplissant des fonctions communes. La substance grise de la moelle se partage, dans le sens de sa longueur, en quatre colonnes qui correspondent par couples aux deux moitiés latérales du corps, chaque couple se subdivisant ensuite pour correspondre aux sections antérieure et postérieure. Le cordon spinal n'est donc pas, comme on l'a cru longtemps, un gros nerf, mais un centre nerveux, une sorte de cerveau inférieur qui reçoit des excitations transmises et envoie des incitations corrélatives. Il a une conscience obtuse, un pouvoir perceptif et moteur. Certaines fonctions sont localisées dans des points déterminés. Ainsi le « nœud vital », découvert par Flourens (1827) et situé dans la moelle allongée, entre la première vertèbre cervicale et la seconde, préside aux fonctions respiratoires. Le centre « cilio-spinal » règle la circulation capillaire de la tête, et le centre « génito-spinal » tient sous sa dépendance les fonctions génératrices.

Enfin, la masse encéphalique, organe de coordination générale, reçoit les impressions transmises de toutes les parties de l'organisme, les transforme en phénomènes de conscience et gouverne l'activité volontaire. Le cerveau dut se constituer comme centre principal de l'action nerveuse, à mesure que les sens se perfectionnaient, car le ganglion où aboutissaient leurs impressions, sans cesse

consultées, était forcément appelé à prendre la prédominance dans le système et à devenir agent recteur. Les articulés ont déjà une ébauche d'organe cérébral dans les deux ganglions majeurs qu'unit l'anneau pharyngien. Pourtant, les mieux doués des insectes ne possèdent encore qu'un ganglion cérébroïde. Le véritable cerveau est l'apanage des vertébrés. Presque nul chez l'amphioxus, il se développe dans l'embranchement à partir des cyclostomes. Il se compose d'abord de quelques vésicules qui, spécialisées par degrés, gagnent en volume et se compliquent de plus en plus. Le système cérébral des mammifères et surtout de l'homme est moins un organe simple qu'une agglomération d'organes dont chacun a sa structure et ses fonctions, bien que l'ensemble agisse avec unité. On pourrait distinguer dans sa masse deux parties principales, investies, l'une de fonctions psychiques, l'autre de fonctions exécutives. La première comprend les couches optiques et les circonvolutions des deux hémisphères; la seconde, le cervelet et la moelle allongée.

Les couches optiques, noyaux de substance grise placés au centre de l'encéphale, paraissent en être le pivot, car les fibres qui s'y rattachent s'irradient dans tous les sens comme les rayons d'une roue. Là se perçoivent les impressions des sens et se produisent les faits d'hallucination sous l'influence d'excitations pathologiques. Ces noyaux, au nombre de quatre (tubercules quadrijumeaux), sont unis en forme de ganglions conglomérés. Le « noyau antérieur » est le centre des impressions olfactives. Dans la classe des poissons, il excède en volume le reste du cerveau. Le « noyau moyen » reçoit les sensations de la vue; le « noyau médian » celles du toucher; et le « noyau postérieur » celles de l'ouïe. — Les hémisphères du cerveau, qui recouvrent les couches optiques, sont le siège de l'intelligence et prennent dans la série un développement en rapport avec celui des facultés. La couche corticale de substance grise qui en compose la partie

la plus importante s'accroît par des plis et replis multipliés dont les sinuosités étendent la surface sans que le volume augmente. Ces circonvolutions manquent sur le cerveau lisse des mammifères inférieurs. Elles apparaissent, simples d'abord, chez les ruminants et les carnivores, puis se creusent de plus en plus chez les singes et particulièrement chez l'homme. Les excitations transmises de toutes les parties de l'organisme viennent se répercuter dans ces strates de cellules, s'y spiritualisent pour ainsi dire en se fusionnant, suscitent l'étonnant phénomène de la conscience lucide et se transforment en idées qui motivent des volitions. Une sorte de prépondérance d'action appartient à l'hémisphère gauche et nous sommes gauchers du cerveau. Les inégalités de volume et l'asymétrie de forme font des hémisphères du cerveau deux centres juxtaposés, d'ordinaire consonnants, mais pourtant distincts et dont l'indépendance relative peut entraîner, dans certains cas pathologiques, un dédoublement de la personnalité (V. Luys, *Mémoire sur le dédoublement des opérations cérébrales*, 1879).

Le cervelet et les corps striés sont des centres de transmission exécutive. Ils coordonnent les mouvements d'ensemble (équilibre, station, progression). Il suffit de blesser en des points déterminés les pédoncules cérébelleux pour contraindre un animal à marcher dans tel ou tel sens (à droite, à gauche, en avant, en arrière) ou à le faire tourner, soit par un mouvement de manège, soit par un mouvement de rotation sur l'axe du corps (Cl. Bernard, *Les fonctions du cerveau*). Enfin, la moelle allongée, prolongement de la moelle épinière, préside à des fonctions organiques (respiration, circulation). En raison de l'importance de ses attributions, ce centre paraît doué de la vitalité la plus intense. Les anesthésiques l'atteignent le dernier. C'est l'*ultimum moriens* du système nerveux.

Telle est, esquissée à grands traits, la structure de ce prodigieux ensemble. On est encore loin d'en connaître

tout le détail et d'avoir montré clairement le rapport qui lie à chaque particularité de conformation de la substance nerveuse une fonction psychique correspondante. Les anatomistes décrivent dans le cerveau des éminences, des dépressions, des sinuosités, des commissures, des ponts, des piliers, des arcs, des arborescences, des cornes, des harpes et une multitude de dispositions bizarres dont l'explication échappe. Même au seul point de vue de l'ordonnance plastique, c'est tout un monde à explorer.

Ainsi, le travail de l'organisation consiste à produire et à raccorder deux séries d'organes, les uns construits avec des tissus passifs et consacrés à des fonctions conservatrices, les autres construits avec des tissus actifs et destinés à mettre les êtres animés en relation avec le milieu. La variabilité de ces formes secondaires permet à la création plastique de diversifier à l'infini l'exécution des plans de structure dans les deux règnes végétal et animal. Les plantes, organismes simples, ne possèdent que des organes de nutrition et de génération. Les animaux, organismes doubles, sont en outre pourvus d'organes de sensation et de mouvement. La principale différence entre ces deux classes de formes tient à ce que, dans la première, les organes sont peu spécialisés et faiblement unis, au lieu que, dans la seconde, ils sont investis de fonctions distinctes, reliés en appareils et fortement centralisés.

CONCLUSION

En résumé, la connaissance des formes composées se ramène à déterminer leur plan de structure, quant à la disposition de l'ensemble, et l'exécution de ce plan, quant au détail de l'exécution des parties. L'étude de ces deux sortes de données fournit le moyen de décrire avec précision toutes les formes complexes, qu'elles soient inorgani-

ques ou organisées. Les cristaux se définissent entièrement par leur plan ; les organismes par le plan et par son mode d'exécution. La science des systèmes de construction, scrutant ainsi le détail de la conformation des choses, va de la simplicité la plus grande à une complication extrême, à travers l'immense série de types dont se composent les deux empires de l'inorganisation et de la vie.

MORPHOLOGIE SYNTHÉTIQUE

SCIENCE DES RAPPORTS DE CONFORMATION

Comme la Morphologie analytique se borne à décrire les formes isolément au double point de vue des matériaux de structure et des modes de structure, elle ne représente qu'une moitié de la science. La Morphologie synthétique doit maintenant rapprocher ces notions éparses et constater les relations des phénomènes plastiques afin de mettre en lumière leur ordre et leurs lois.

Il y aurait à scruter deux sortes de rapports. Les parties dont chaque forme se compose ont, soit leurs connexions dans un même type, soit leurs similitudes dans les divers types. Les types eux-mêmes, pris en entier, se ressemblent ou diffèrent dans une mesure qu'il faudrait fixer pour avoir une claire vue de l'ensemble. Nous diviserons conséquemment l'étude synthétique des formes en deux sections, savoir : 1° la Morphologie comparée, qui s'applique à déterminer les corrélations spéciales de structure; et 2° la Morphologie générale ou Taxinomie, qui a pour objet de classer les types et de formuler les lois de conformation.

I. — MORPHOLOGIE COMPARÉE

SCIENCE DES CORRÉLATIONS SPÉCIALES DE STRUCTURE

THÉORIE DES RAPPORTS PLASTIQUES

Les éléments et les modes de structure exposés séparément dans les sections qui précèdent ne peuvent être ainsi présentés que par un artifice d'analyse. En réalité la nature les unit presque toujours et, sauf les plus simples, nous les montre à l'état de coordination et de système. Il importe donc de savoir comment les matériaux plastiques s'adaptent les uns aux autres et s'accordent pour former un tout. Il faut en outre comparer les détails de construction dans les divers types, afin d'établir leurs rapports plus ou moins étroits de similitude et de disparité, ce qui permettra de conclure ensuite des ressemblances et des différences partielles de ces types à leurs ressemblances et à leurs différences d'ensemble. Enfin, la science, attentive aux variations des formes, devrait recueillir, soit dans les êtres, soit dans les séries, les indices de dérivation plastique. Telles sont les corrélations spéciales dont la Morphologie comparée a pour mission d'étudier l'ordre.

La marche à suivre dans ces recherches est tracée par le classement des problèmes de la Morphologie analytique, puisqu'il s'agit maintenant de confronter et de lier ses données. Guidés par la considération de la complexité croissante des faits, nous avons à examiner, d'abord les relations des éléments de structure, puis celles des modes de structure, et finalement leur accord.

MORPHOLOGIE COMPAREE

SCIENCE DES CORRÉLATIONS SPÉCIALES DE STRUCTURE

a. corrélations des plastides cristallins.	a. corrélations des agrégats cristallins.	b. corrélations des tissus organiques.	a. corrélations des plans des cristaux.	b. corrélations des plans des organismes.	a. corrélations des organes de la vie végétative.	b. corrélations des organes de la vie animale.
A. CORRÉLATIONS DES ÉLÉMENTS PRIMAIRES		B. CORRÉLATIONS DES ÉLÉMENTS SECONDAIRES		A. CORRÉLATIONS DES PLANS DE STRUCTURE		B. CORRÉLATIONS DES MODES D'ORGANISATION
1. CORRÉLATIONS DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE				2. CORRÉLATIONS DES MODES DE STRUCTURE		

CORRÉLATIONS D'ENSEMBLE. — UNITÉ INDIVIDUELLE ET SPÉCIFIQUE DES FORMES.

1. — CORRÉLATIONS DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

Comme, en tout, les commencements importent le plus, on voudrait pouvoir remonter dans cette étude aux éléments premiers des formes et saisir, dans les rapports des linéaments moléculaires, le point de départ de corrélations plus complexes; mais les connaissances font défaut à cet égard et nous devons nous restreindre à comparer les matériaux plastiques alors que, passant de l'état fluide à l'état solide et agrégés par la cohésion, ils ont acquis des dimensions perceptibles.

Une relation formelle unit les liquides et les solides qui en proviennent, car leurs éléments sont identiques et la seule différence qui sépare les deux conditions tient à la mobilité ou à la fixité des molécules. Les corps vont de l'un à l'autre état physique par les phénomènes inverses de la cristallisation et de la liquéfaction ou de la dissolution. Ce dernier est souvent pris, mais à tort, pour un phénomène chimique, et A. Comte a partagé l'erreur commune (t. III, p. 111). Parfois, en effet, la dissolution est le préliminaire d'une combinaison et la facilite parce qu'elle met en contact plus intime les éléments des corps. Néanmoins, il faut éviter de la confondre avec la combinaison même. Des substances peuvent se dissoudre sans que leur composition soit modifiée. En général même, un solide est le plus aisément dissous par son propre liquide, ce qui exclut toute idée d'action chimique. Quand il se dissout dans un liquide hétérogène, c'est que les molécules du dissolvant, animées d'une puissance supérieure de mouvement, pénètrent à la manière d'un coin entre ses molécules et les désagrègent. Considéré dans son ensemble, le pouvoir de dissolution que possèdent les liquides et qui s'exerce, suivant leur nature, sur des solides, des gaz ou d'autres liquides, constitue un caractère particulier, un mode spé-

cial d'action qui semble intermédiaire entre la cohésion et l'affinité. Mais, pris en dehors de toute complication, le phénomène de la dissolution des solides se borne à démolir un agrégat. Il supprime l'arrangement plastique et résout les formes en leurs moindres éléments. On doit donc voir en lui l'exacte contrepartie de la prise. Les corps absorbent d'ailleurs, en se dissolvant, la même quantité de chaleur qu'ils avaient dégagée en cristallisant, et cela montre l'équivalence du travail accompli dans les deux cas.

Cette alternance de condition n'est pas spéciale aux corps bruts; les substances organiques traversent des changements analogues quoique moins réguliers et moins tranchés. Il est d'abord à noter qu'elles ne sont jamais ni entièrement liquides, ni entièrement solides, mais participent des deux états et se rapprochent de l'un ou de l'autre par une multitude de degrés où s'opère une solidification ou une liquéfaction partielle. Les mutations, au lieu de se produire en une fois, à des points fixes de température, s'accomplissent insensiblement, sous des influences variables. Enfin, les éléments anatomiques se forment dans les liquides plasmatiques comme les éléments cristallo-gènes dans leur eau-mère. De même, quand ils ont cessé de vivre, ils subissent une résorption dans la masse liquide, et leur substance, diluée de nouveau, est expulsée par excrétion après avoir subi des transformations qui la dénaturent.

Ces relations générales indiquées, abordons l'étude des éléments figurés qui seuls se prêtent à des comparaisons fructueuses.

A. — Corrélations des éléments primaires de structure.

a. — Les éléments cristallins sont unis par des rapports simples et bornés qui résultent de leur configuration rec-

tiligne et des lois de la dérivation géométrique des polyèdres. Mais ces formes, qui dépendent de la composition par une relation encore mal connue, varient dans les cas de polymorphisme et se confondent dans ceux d'isomorphisme, sans que le trait d'union puisse alors être sûrement établi.

b. — Des rapports plus complexes lient les plastides organiques. Les différents types de cellules procèdent d'une cellule primordiale par l'effet de mutations successives dues à des changements de composition et à des situations variables. On croit par exemple que les éléments cellulaires tenus en suspension dans le sang ont une provenance commune. Les leucocytes paraissent être un état embryonnaire des hématies et la forme de passage serait représentée par les « leucocytes de Semmer » intermédiaires entre les deux. Les cellules agrégées, soumises, par l'effet même de leur assemblage, à des influences locales, parcourent des cycles plus étendus de métamorphoses. On admet que les cellules simples du tissu cellulaire se changent en cellules des tissus épithélial et glandulaire. Des modifications plus profondes font ensuite sortir les éléments des tissus actifs de ceux des tissus passifs et les différencient à leur tour. Les cellules musculaires et les cellules nerveuses, d'abord confondues, se spécialisent par voie d'évolution. Quoique les stades de cette genèse soient obscurs en beaucoup de points, tous les plastides organiques, si grande que soit leur diversité chez l'adulte, proviennent manifestement, par une suite de transformations graduelles, d'une cellule initiale unique, l'ovule.

On peut même rapprocher, par des analogies plus lointaines, les cellules végétales et les cellules animales, en tenant compte soit du protoplasma qui leur est commun, soit de similitudes plastiques. La cellule végétale, prise dans sa phase de vitalité la plus intense, est une particule

de pulpe animalisée, une sorte d'animalcule rudimentaire et captif, vivant dans son enveloppe de cellulose comme un infusoire dans sa carapace. La chitine des articulés rappelle le ligneux des plantes ; enfin Schwann a reconnu l'identité des cellules végétales et des cellules du cartilage, au double point de vue morphologique et physiologique.

Nous devons insister davantage sur le rapport moins apparent qui unit les éléments des cristaux et les plastides organiques. On se contente d'ordinaire de les opposer sans chercher à montrer leurs relations et même sans admettre qu'il en puisse exister entre eux. « Vivre et cristalliser, dit M. Robin, sont deux propriétés qui ne sont jamais réunies » (*Éléments anatomiques*, p. 17). Elles ne sont pas réunies il est vrai, mais juxtaposées ou plutôt superposées. La différence qui sépare les deux classes d'éléments est assurément considérable, puisqu'elle porte à la fois sur l'état physique, la composition et la structure ; cependant elle n'est pas absolue et la nature trouve de l'une à l'autre les transitions nécessaires.

Certaines substances minérales comme le soufre revêtent parfois une forme utriculaire. D'autre part, les cellules, déformées par des pressions, peuvent prendre une disposition polygonale ou polyédrique. On conçoit d'ailleurs qu'il suffise d'accroître dans un agrégat élémentaire le nombre des atomes ou des molécules pour que sa configuration polyédrique se rapproche de la forme sphérique par un artifice analogue à celui dont se servent les géomètres quand ils assimilent la circonférence à un polygone d'un nombre indéfini de côtés. D'après M. Robin lui-même, la plupart des cellules seraient d'abord polyédriques et deviendraient ensuite ovoïdes par évolution. (*Anatomie et pathologie cellulaires*, p. 2.)

On doit à Graham la distinction très importante des corps « cristalloïdes, » dont le volume n'augmente pas au

contact de l'eau et des corps « colloïdes » qui se gonflent en s'humectant. Ce sont là deux états généraux de la matière, et beaucoup de substances revêtent alternativement l'un et l'autre par suite d'un simple fait de composition ou de réduction. Elles manifestent alors des propriétés différentes, car, cristalloïdales, elles sont diffusibles et, colloïdales, insolubles. Les secondes, chimiquement inertes en comparaison des acides et des bases, se laissent aisément pénétrer par les premières, mais ne se pénètrent pas entre elles et passent difficilement à l'état cristallin. Imbibées, elles deviennent visqueuses. Ces différences paraissent tenir à ce que les cristalloïdes, dont la composition est toujours définie, ont une condition moléculaire simple et se prennent en formes d'une régularité constante, au lieu que les colloïdes, dont la composition est indéfinie, ont une condition moléculaire complexe et comportent des modes d'assemblages variés. L'eau, qui dilue une foule de cristalloïdes et humecte tous les colloïdes, sert de lien aux deux séries. Elle est en même temps le plus répandu des cristalloïdes, le plus disposé à changer d'état entre des limites peu distantes de température, et le plus nécessaire aux colloïdes pour faciliter leurs combinaisons éventuelles. De là le grand rôle qu'elle joue dans les organismes dont elle constitue environ les 9/10^{es} en poids. Il faut donc admettre une « eau de gélatinisation » plus indispensable que « l'eau de cristallisation » des minéraux formés par la voie humide, parce que les substances organiques ne se forment jamais par la voie sèche.

La structure des corps colloïdes n'est pourtant pas sans analogie avec celle des cristalloïdes, et, quand on les examine au microscope polarisateur, ils paraissent composés de lamelles cristallines d'une extrême ténuité. La flexibilité de ces éléments permettrait au liquide intérieur de modeler son enveloppe en vertu de la pesanteur et de donner à l'utricule naissante une forme sphéroïdale. Nä-

geli et Schwendener ont constaté par l'étude des effets de la polarisation que les tissus des plantes doivent contenir des particules biréfringentes à deux axes optiques. Des éléments inorganiques se mêlent donc aux organiques et se confondent avec eux. Il y a plus, Reichert a signalé en 1849 le fait que des substances albuminoïdes peuvent prendre la forme cristalloïde. La plupart des semences contiennent des grains d'« aleurone », composés de fibrine, d'albumine, de légumine, etc., à l'état de cristaux et qui paraissent servir d'aliments de réserve. Enfin, les deux classes de plastides comparées sous leur forme propre pourraient être regardées comme le produit de modes de cristallisation spéciaux à des catégories de substances inégalement composées. Dans l'opinion de Schwann, fondateur de la théorie cellulaire (*Recherches microscopiques*, p. 224), la formation des cellules ne diffère pas en principe de celle des éléments cristallogéniques et le mode de cellulation des substances albuminoïdes résulte simplement de la condition d'assemblage de matériaux susceptibles de s'humecter. Il constituerait ainsi une sorte de « cristallisation cellulaire » et s'opérerait, comme pour les corps bruts, par le dépôt de couches successives autour d'un centre.

Le fait dominant de la structure organique, c'est l'union ou la synthèse de principes immédiats, les uns cristallisables, les autres coagulables, associés dans un agrégat sans grande stabilité chimique, mais temporairement indissoluble (Robin, *id.* p. 18, 19). La cellule est un composé de substances colloïdes tenant en dissolution des substances cristalloïdes et jouant à leur égard le rôle de dialyseur. Elle absorbe, transforme et restitue. En vertu de sa composition instable, elle possède un certain pouvoir moléculaire et c'est ce pouvoir qu'utilise le fonctionnement de la vie. Mais l'acte vital l'épuise par l'usage même qu'il en fait et détermine une décomposition des substances colloïdes qui, ramenées à un état de combinaison

plus simple, perdent leur structure organique, redeviennent cristalloïdes et sont alors éliminées.

Conséquemment, les deux états cristalloïdal et colloïdal, loin d'être opposés et incompatibles, sont en rotation constante dans la nature. Les mêmes substances, prises à deux degrés de composition, sont tantôt cristalloïdes et diffusibles dans les corps bruts, tantôt colloïdes et insolubles dans les corps vivants, puis reviennent à la condition cristalloïde après avoir traversé l'organisation. Un faible changement chimique produit ces métamorphoses tour à tour progressives et récurrentes, sur la frontière indéfinie qui sépare les composés définis des composés indéfinis et la cristallinité de l'organisation. Les matériaux des corps, légèrement modifiés, passent et repassent d'un règne à l'autre, prenant, ici une configuration polyédrique, là une disposition vésiculaire. La cellule n'est, en somme, qu'un agrégat fortement hydraté de molécules cristalloïdes appelées par une petite complication de substance à prendre la forme utriculaire. Il n'y a donc pas de séparation absolue entre les éléments des deux règnes de formes et, quand on les compare au plus bas degré de simplicité, les barrières conventionnelles s'effacent. « La division des objets naturels en organiques et inorganiques n'a pu naître qu'à une époque où l'on se bornait à considérer les deux extrêmes. Celui qui compare un lion à un morceau de chaux dira sans doute que la différence s'impose à tous nos sens. Mais que l'on compare les petits cristaux d'oxyde de fer, presque sphériques, avec les petits articles sphériques de *Gallionella ferruginea* d'Ehrenberg (algue des eaux ferrugineuses), qui consistent aussi presque exclusivement en fer et représentent à coup sûr une formation organique, alors l'antithèse brutale cesse tout à coup et tous ceux qui réfléchissent conçoivent pour la science la possibilité encore lointaine de ramener la formation de tous deux à une même loi de la nature... Dans le saut apparent de l'anorganique à l'organique, l'observa-

tion attentive nous révélera, au lieu d'une distinction spécifique, des différences graduelles. » (Schleiden, *La botanique comme science inductive*, t. I, p. 24.)

B. — Corrélations des éléments secondaires de structure.

a. — Les relations qui résultent pour les cristaux du mode d'assemblage de leurs molécules intégrantes sont très restreintes, car chaque type de construction se compose en général d'une seule sorte d'éléments groupés d'une manière invariable. Mais une parfaite homogénéité de substance et une parfaite uniformité de structure ne se rencontrent guère que dans des cristaux de dimensions infimes. Ceux dont le volume excède 1 ou 2/10^{es} de millimètre ont d'ordinaire une structure composée et leurs zones variables sont l'indice de changements survenus dans les conditions de la prise. En cas d'isomorphisme, lorsque les formes sont pareilles ou ne varient que par une petite inégalité dans la valeur des angles, des substances différentes peuvent se superposer par couches sans que le cristal subisse de modification plastique. Les éléments qui appartiennent à des systèmes différents ne se mêlent pas entre eux. Néanmoins, ils peuvent se trouver juxtaposés et adhérents comme il arrive pour le granit et d'autres roches complexes où divers genres de cristaux microscopiques sont enchevêtrés les uns dans les autres. Ainsi les porphyres et les basaltes consistent en agglomérations de microlithes et leurs plaques minces, vues par transparence à la lumière polarisée, ressemblent à des mosaïques brillant des plus vives couleurs. Lorsque plusieurs substances dont le point de fusion diffère ont été tenues liquides ensemble, elles cristallisent successivement à mesure que décroît la température du mélange. En ce qui concerne le granit, par exemple, le feldspath et le mica, solidifiés les premiers, ont été longtemps en-

globés dans un magma siliceux qui s'est pris ultérieurement. Les inclusions contenues dans les cristaux ont, en conséquence, une signification très nette. Elles indiquent la nature et les conditions du milieu où la cristallisation s'est accomplie. Vitreuses, ces inclusions attestent une origine ignée; aqueuses, elles témoignent d'une formation par voie humide.

b. — Des rapports plus étroits et moins fixes de structure unissent les trames organiques. Les divers tissus, faciles à modifier, non seulement se relient les uns aux autres, mais encore proviennent les uns des autres.

Le tissu cellulaire, qui compose exclusivement les organismes les plus simples, se combine, dans les organismes complexes, avec les autres tissus, leur sert de gangue connective, les nourrit et paraît être leur générateur commun. Chez les plantes, les dérivés du tissu élémentaire se constituent par des modifications insensibles et même se trouvent confondus à l'état naissant dans la graine ou dans le bourgeon. Chez les animaux, les tissus se différencient par degrés, durant la phase embryonnaire, dans un ordre qui se répète pour l'adulte lorsqu'un tissu déchiré se répare. On voit alors se produire d'abord une exsudation de lymphé plastique bientôt solidifiée en un néoplasme membraneux où abondent les cellules nées de la prolifération de celles du tissu conjonctif avoisinant et qui se transforment ensuite en vaisseaux, tendons, os, muscles ou nerfs. « Il y a lieu de conclure que les choses se passent comme si tous les éléments passifs dériveraient d'un même élément, la cellule embryoplasmatique dont les produits se développent suivant le siège de leur développement. En effet, les tissus fibreux, cartilagineux, osseux, se forment du tissu cellulaire et peuvent retourner à cet état selon l'endroit où ils se trouvent transplantés. » (Cl. Bernard, *Physiologie générale*, p. 177).

Des connexions spéciales, moins directes, relient les tissus actifs. — Les cartilages et les os se forment, comme les muscles, aux dépens des cellules indifférentes du feuillet fibro-cutané qui passent de l'état fibreux à l'état cartilagineux et enfin à l'état osseux. Une transformation graduelle donne aux os leur consistance, et les points où ils s'articulent restent cartilagineux. — Les fibres musculaires se lient aux os par leurs extrémités qui se changent en tendons. Le même tissu arrivé à des degrés inégaux de développement paraît constituer les deux sortes de muscles, involontaires, faits de fibres lisses, et volontaires, faits de fibres striées. Il existe des formes intermédiaires : chez les mollusques, on observe des muscles en partie lisses, en parties striés, et le cœur des vertébrés possède des fibres qui, quoique striées, sont involontaires. — De même, les deux sortes de tissus nerveux, la substance blanche, dont se composent les nerfs, et la substance grise des centres, sont en corrélation intime, et se confondent au point où la communication s'établit. Chaque cellule a un ou plusieurs filets nerveux (cellules unipolaires, bipolaires, multipolaires; l'existence des cellules apolaires est mise en doute). Dans la trame même de la substance grise, les cellules sensibles, les cellules idéogènes et les cellules motrices, reliées par des commissures, réagissent les unes sur les autres, se renvoient leurs ébranlements respectifs et vibrent ensemble à l'unisson. D'autre part, les nerfs afférents et les nerfs déférents, qui aboutissent également aux cellules, sont unis par elles et marquent les deux moitiés du parcours accompli par l'influx nerveux. — Une relation subséquente de même ordre fait communiquer les fibres nerveuses et les fibres musculaires, car la contractilité des unes est inséparable de l'irritabilité des autres. Les nerfs moteurs se rendent aux muscles et s'épanouissent, à leur contact, en une plaque terminale où l'incitation se produit. Si distinctes que soient leurs attributions, le tissu nerveux et le tissu musculaire ont

une même origine. Les organismes rudimentaires, dépourvus de nerfs et de muscles, comme les polypiers, sont réduits à de la « fibroïne », substance ambiguë appelée aussi « neuromyaire » qui, tenant de la nature des deux, à la fois impressionnable et contractile, rend ces êtres imparfaits capables de sentir et de se mouvoir. Kleinenberg a vu (1872) poindre chez l'hydre la transformation du protoplasma en éléments demi-musculaires, demi-nerveux, constituant des cellules « neuro-musculaires ».

Les tissus actifs dérivent des tissus passifs et en représentent des variétés investies de fonctions distinctes. Tous ensemble forment une société naturelle dont l'organisation animale est le produit. Ils se complètent réciproquement, sont solidaires les uns des autres, et leur accord s'impose comme une condition de vie. Le tissu cellulaire et ses dérivés directs assurent la nutrition de l'ensemble; les tissus cartilagineux et osseux servent de support ou de protection; le tissu musculaire met l'organisme en mouvement et le tissu nerveux coordonne l'activité générale. Il y a donc concert nécessaire, interdépendance de ces éléments qui s'impliquent les uns les autres et, sauf le plus simple, seraient, dans l'isolement, voués à une mort rapide.

Enfin, l'architecture des cristaux et la texture organique ne sont pas inconciliables, comme on serait tenté de le croire. Ces deux modes de construction alternent ou se combinent dans certains groupes de formes. D'une part, en effet, quelques substances minérales se montrent accidentellement en amas gélatineux ou vésiculiforme; de l'autre, des tissus organiques tels que le ligneux des plantes, le test des mollusques, le squelette des vertébrés, imprégnés de sels, minéralisés pour ainsi dire, ont une texture à demi-cristalline et procurent à des produits de la vie, communément éphémères, quelque chose de la force de résistance et de la durée qui caractérisent les corps

bruts. Ce trait de ressemblance est même rendu plus sensible par l'âge. Les os deviennent cassants, les artères s'ossifient, les tissus s'incrument, et l'organisme semble revenir spontanément à une condition voisine de celle des anorganismes avec lesquels il va se confondre à la mort.

2. — CORRÉLATIONS DES MODES DE STRUCTURE

Les modes de structure ont des relations plus étendues que les matériaux de structure parce qu'ils constituent l'élément variable des formes, comme ceux-ci l'élément fixe. Leurs rapports s'enchaînent conséquemment par séries. Examinons d'abord les corrélations des plans de structure, puis celles qui concernent le détail d'exécution de ces plans.

A. — Corrélations des plans de structure.

a. — Pour les cristaux, le plan de structure se réduit à un petit nombre de données, axes, faces, arêtes et angles, dont la considération essentielle détermine entièrement les formes et qu'il importe d'autant plus de comparer.

Les axes diffèrent par leurs longueurs et leurs positions respectives, d'où résultent certains rapports. Si, en effet, on part du type le plus régulier, celui du cube, où les trois axes sont égaux et perpendiculaires les uns sur les autres, il suffit soit de prolonger, soit d'incliner un ou deux axes et de combiner les divers cas pour passer de ce système aux suivants.

Dans un type donné, les faces, les arêtes et les angles se modifient par degrés et des lois de dérivation rattachent les unes aux autres, dans une même série, des formes variées.

Il est, par exemple, aisé de concevoir comment des mutations successives transforment le tétraèdre en octaèdre, l'octaèdre en prisme, etc. D'après la loi dite « de symétrie », les parties de même espèce, c'est-à-dire les arêtes correspondantes et les angles égaux changent en même temps, de la même manière; les parties d'espèce différente se modifient séparément.

b. — Les corrélations des types organiques sont beaucoup plus complexes.

Nous avons vu que le type végétal consiste en un axe principal de croissance (tige), sur lequel s'embranchent des axes secondaires auxquels correspondent les rameaux ou les organes. Ce type, simple et uniforme dans l'ensemble, mais extrêmement variable dans le détail, ne se laisse pas saisir, comme le plan des cristaux, par des traits nettement accusés, constants pour chaque groupe, et, par suite, ne se prête guère à des comparaisons suivies.

Le plan de structure des animaux présente des caractères mieux déterminés et plus fixes. Il est également disposé en forme de pyramide, mais irrégulière et où la symétrie bilatérale domine. Cuvier a eu tort de croire que ses embranchements étaient séparés par des différences absolues; des analogies générales et des formes de transition les relient les uns aux autres. On voit par les astéries, les échinides et les holothuries comment l'organisation animale a pu passer du type radiaire au type bilatéral. Les vers, dérivés des zoophytes, paraissent avoir donné naissance à tous les autres embranchements. D'une part, en effet, les mollusques, simples annelés modifiés sous l'influence de conditions particulières de vie, se rattachent à eux par l'intermédiaire des vers tubicoles; de l'autre, les relations des vers et des arthropodes sont si manifestes que Cuvier les avait d'abord réunis. L'arthropode est un annelé muni d'organes locomoteurs symétriquement ran-

gés. Enfin, le passage des vers aux vertébrés serait à chercher, non parmi les ascidies (molluscoïdes), mais chez quelque annelé modifié. L'amphioxus rappelle une de ces formes ancestrales et représente un annelé en train de devenir vertébré. La parenté des deux groupes a, du reste, été mise récemment en lumière par le trait de similitude qu'ont signalé MM. Semper en Allemagne et Balfour en Angleterre, entre l'embryon des squales et les vers. Leur type offre en effet des ressemblances générales, surtout quand on les compare au début de l'évolution. Il se réduit toujours à deux tubes superposés que sépare un axe médian. Seulement, chez l'articulé, le squelette est en dehors, le système musculaire à l'intérieur, l'axe nerveux sous le tube intestinal; chez le vertébré, au contraire, le squelette est en dedans, le système musculaire à l'extérieur, l'axe nerveux sur le tube intestinal. Geoffroi Saint-Hilaire a pu comparer le vertébré à un articulé retourné qui marcherait sur le dos. En somme, les vers, les arthropodes et les vertébrés composent un groupe naturel dont les premiers constituent la forme embryonnaire et les derniers la forme supérieure.

On pourrait assimiler aussi le plan des végétaux et celui des animaux. Les rayonnés sont construits comme les plantes d'après le type radiaire et les organes de celles-ci affectent souvent la symétrie bilatérale. La fixation au sol des végétaux et des zoophytes leur impose une condition commune d'existence qui entraîne dans le développement de leur structure un certain nombre d'analogies. Ils ont également une tige, des bourgeons... Le trait de différence entre les deux règnes organiques tient à l'inégale complexité de leurs éléments plastiques. Le végétal, organisme simple, entièrement construit avec des tissus passifs, n'a qu'un axe général, une série d'organes et un ordre de fonctions. La dépendance où il vit du milieu rend sa conformation excentrique ou superficielle. Ses principaux organes sont, conséquemment,

périphériques. L'animal, organisme double, construit avec des tissus actifs et des tissus passifs, a deux axes, deux séries d'organes et deux ordres de fonctions. Extérieurs chez la plante, les organes consacrés à la vie de nutrition ou de reproduction sont intérieurs chez l'animal, qui fait lui-même son milieu, tandis que les organes de sensation et de mouvement occupent la surface de l'organisme. L'animal est donc une plante retournée ou repliée sur elle-même, qui se nourrit et se régénère en dedans, afin de pouvoir entretenir avec le dehors des relations multipliées.

Des analogies plus lointaines encore permettraient même de confronter le plan de structure des cristaux et celui des organismes. Haeckel a montré qu'on pouvait ramener à des lois communes ces deux sortes de types, si dissemblables en apparence. Les formes vivantes rappellent en effet par leurs caractères essentiels le système stéréotomique des formes brutes et les premières se construisent, comme les secondes, par rapport à deux axes, longitudinal et transversal. L'eau, qui figure dans les deux séries et leur sert en quelque sorte de lien, cristallise en aiguilles disposées d'après un plan hexagonal ou radiaire. Certaines substances minérales présentent des formes qu'on appelle « dendritiques », « coralloïdes », « fibreuses », des aspects qualifiés d'« arborescences » ou d'« efflorescences ». Par contre, les organismes rudimentaires affectent souvent des figurations soit polyédriques (tétraèdre, hexaèdre, octaèdre...), soit arrondies (sphère, cylindre, ellipsoïde, cône, double cône...), de sorte que, par les unes ils se rapprochent des cristaux, et, par les autres, des organismes composés. Quelque chose de la régularité des cristaux se retrouve dans la structure des plantes, dans le mode d'insertion des rameaux ou des feuilles et dans la conformation d'une multitude de fleurs. Le monde des formes organiques est pour ainsi dire une

crystallisation vivante. Enfin, la loi générale de symétrie repose sur les conditions de l'équilibre et régit en conséquence tous les systèmes de construction. L'ordre qu'elle établit, simple et fixe pour les corps bruts, complexe et variable pour les organismes, donne à l'ensemble des formes une sorte d'unité.

B. — Corrélations des modes de structure.

L'étude des modes d'exécution des plans de la structure organique ouvre à la Morphologie comparée le plus vaste champ de recherches, parce que la formation d'un tout plastique à l'aide de parties diverses admet des rapports variables à l'infini. La science des corrélations organiques porte le nom d'« Anatomie comparée ». Cuvier (après Vicq d'Azyr) en a été le glorieux initiateur. Toutefois, ses travaux, si admirables qu'ils soient, ont à peine effleuré un sujet immense, puisqu'il a simplement institué l'ostéologie comparée, c'est-à-dire considéré une seule classe d'organes, dans un seul embranchement, tandis que l'Organologie comparée devrait comprendre toutes les classes d'organes, non seulement dans le règne animal entier, mais encore dans le règne végétal.

Deux sortes de rapports, les uns spéciaux, les autres généraux, relient les parties des organismes :

Les organes qui concourent à une même fonction sont unis par une relation directe et composent un « appareil » (digestif, circulatoire, musculaire, nerveux...). Les appareils ont ensuite leurs relations médiatees et s'accordent finalement dans l'unité du tout organique.

En outre, les ressemblances des organes sont à examiner d'abord dans un même organisme (loi d'homologie), puis entre organismes différents (loi d'analogie).

Pour explorer le détail de leurs corrélations, il faudrait donc comparer sous ces deux aspects les deux classes prin-

cipales d'organes afférents d'une part à la vie végétative, de l'autre à la vie animale.

a. — Les relations, étroites mais limitées, des organes de la vie végétative, résultent d'un fonds commun d'éléments de structure investis de propriétés pareilles. Étudions-les, en premier lieu chez les plantes où elles sont les plus simples, et secondement chez les animaux où elles se compliquent davantage.

L'organologie végétale ne s'élève pas au-dessus de la production d'organes adaptés, soit à la nutrition, soit à la reproduction. Ces derniers, mieux spécialisés, fournissent à la Taxinomie ses indices les plus significatifs. Les uns et les autres existent parfois en très grand nombre dans un même sujet, tout en conservant une indépendance relative. Certaines plantes comptent par myriades leurs racelles, leurs bourgeons, leurs feuilles, leurs fleurs ou leurs fruits. La loi d'homologie, qui régit les similitudes des organes, trouve dans l'étude des plantes ses applications les plus étendues. Les différentes parties du végétal paraissent provenir d'un même type d'organe infiniment variable et graduellement modifié par l'influence des milieux. Wolf et Goethe (*Métamorphoses des plantes*, 1790) ont fait voir comment la feuille transformée devient écaille, bractée, calice, corolle, étamine, carpelle... De même, les oignons et les bulbes sont des tiges souterraines; les graines, des bourgeons détachés; les vrilles, des bourgeons axillaires; les épines, des bourgeons avortés, etc. Cette aptitude des organes à se convertir en d'autres explique la diversité des modes de multiplication des plantes; mais, au double point de vue de la connexité des formes et de la spécialité des fonctions, l'organisme végétal est une création inférieure où la différenciation des parties et leur coordination unitaire laissent également à désirer.

L'organisme animal admet des dissemblances mieux

accusées entre ses parties et, conséquemment, exige une solidarité plus étroite dans leur assemblage. L'appareil nutritif, étant disposé, non plus pour absorber directement des substances alibiles diluées, mais pour transformer en un liquide nourricier des aliments spéciaux ingérés et digérés, devait se composer d'organes adaptés au détail de cette élaboration complexe et reliés par son unité. Cependant, les organes de la vie végétative ont une sorte de ressemblance générale due à la simplicité relative de leur structure et de leurs fonctions, car, appliquant les aptitudes bornées des tissus passifs, ils ne peuvent qu'absorber ou exhaler, sécréter ou excréter. Le même organe se répète souvent un nombre indéfini de fois, comme ces glandes sudoripares répandues par centaines de mille à la surface du corps humain, ou ces vaisseaux capillaires si rapprochés dans la trame de tous les tissus, qu'on ne peut introduire nulle part une fine pointe d'aiguille sans en déchirer quelques-uns. Les organes volumineux se composent d'une multitude de parties semblables et simplement agrégées. Souvent ils offrent même dans leur masse une duplication de parties comme s'ils résultaient de l'association de deux organes pareils. Ainsi le poumon, le foie, etc., sont bilobés. Le cœur des oiseaux et des mammifères est double. Il représente deux cœurs accolés mais distincts, sans communication entre eux et dont chacun est chargé d'effectuer une circulation spéciale, l'un recevant le sang veineux pour le renvoyer au poumon, l'autre recevant le sang artériel pour le chasser dans l'économie. De même, le cerveau a deux hémisphères, les organes des sens et les membres se répètent par paires... L'anatomie comparée étend très loin l'étude de ces rapports que régit la loi « de la répétition des formes. » Elle assimile par exemple le rein primitif et les glandes sudoripares ; les glandes mammaires et les glandes sébacées ; le poumon des vertébrés aériens et la vessie natatoire des poissons ; les dents et les écailles

(identiques chez la raie); elle reconnaît des antennes modifiées dans les mandibules de l'araignée et des pattes dans les antennes des crustacés, etc.

Quand on compare l'organisation des végétaux et celle des animaux, on entrevoit un ordre de mystérieuses similitudes. Les mêmes séries d'organes se spécialisent dans le même sens chez les uns et chez les autres. Des systèmes de parties sont également appropriés dans les deux règnes aux fonctions essentielles d'absorption, de circulation, de respiration et d'excrétion. Les radicules des plantes ont leur équivalent dans les vaisseaux chylifères des animaux, les feuillettes des branchies et les lobules du poumon rappellent les feuilles; le sang et la sève circulent de même dans des canaux ramifiés...

Les appareils de reproduction présentent surtout de singulières analogies. La distinction de l'androcée et du gynécée chez les plantes correspond à celle des sexes mâle et femelle chez les animaux. Ici et là, les organes reproducteurs sont tantôt absents, tantôt unis, tantôt séparés. L'œuf des ovipares est assimilable à une graine, etc. Le parallélisme des organes et des fonctions de génération dans les deux séries d'organismes, mis en lumière par Linné, révèle tout un ensemble de rapports organologiques sur lesquels la Botanique et la Zoologie, à tort séparées, n'ont pas insisté suffisamment et qui prêteraient à des considérations d'un singulier intérêt. On observe dans le règne inférieur, à l'état de rudiment et de dispersion, ce que le règne supérieur montre à l'état de développement et de concentration. Bichat appelle le végétal « l'ébauché et le canevas » de l'animal.

b. — Plus spéciaux que les organes de la vie de nutrition, ceux de la vie de relation sont aussi mieux unis. Leurs connexités seraient à étudier dans le système neutre ou osseux et dans le système actif ou musculaire et nerveux.

L'appareil de sustentation se prête à des corrélations

d'autant plus étendues qu'il se complique davantage. Les pièces osseuses du squelette des vertébrés sont homologues et constituent le même bras de levier adapté à des emplois différents par suite de modifications de détail. En raison de la symétrie bilatérale du plan de structure, les membres locomoteurs se disposent généralement par paires. Les membres postérieurs reproduisent même la conformation des antérieurs. Les vertèbres se plient à des particularités locales ou spécifiques et, malgré une transformation plus profonde, on les reconnaît jusque dans les plaques du crâne. Quant aux membres leur analogie transparaît sous la diversité des types et la nageoire du poisson, l'aile de l'oiseau, la patte du quadrupède, la main de l'homme, sont construites sur le même plan. Si étroit est le rapport qui lie les pièces de la charpente osseuse, qu'avec une d'elles ou même avec le fragment d'une d'elles, un paléontologiste reconstruit sûrement toutes les autres. « La forme de la dent, dit Cuvier, entraîne celle du condyle, celle de l'omoplate, celle des ongles, tout comme l'équation d'une courbe entraîne toutes ses propriétés, et, de même qu'en prenant séparément chaque propriété pour base d'une équation particulière on retrouverait et l'équation ordinaire et toutes ses autres propriétés quelconques, de même l'ongle, l'omoplate, le condyle, le fémur et tous les autres os, pris séparément, donnent la dent et se donnent réciproquement. »

Les muscles, divers par leurs formes, leurs dimensions et leur mode d'attache, remplissent tous la même fonction et appliquent dans des conditions particulières une puissance commune de contractilité. On constate, dans des séries d'espèces, les mêmes muscles liés aux pièces correspondantes du squelette. — L'appareil de sustentation et l'appareil musculaire réagissent l'un sur l'autre pour exécuter le mouvement, augmenter son amplitude ou changer sa direction. Il y a d'ailleurs adaptation réciproque entre les os et les muscles; les saillies des pre-

miers sont proportionnées au volume des seconds et le développement des muscles influe sur celui des os.

C'est dans l'appareil d'innervation que les connexions morphologiques se laissent le mieux constater. — Non seulement chaque organe de sensation, approprié à un ordre déterminé d'impressions, présente chez tous les êtres de même type des analogies générales, mais encore, dans un type donné, les divers sens ont leurs ressemblances lointaines et leurs rapports probables de dérivation. L'anatomie comparée, justifiant une conjecture de Démocrite, les regarde comme provenant, par modifications locales, du toucher, sens primordial et diffus. L'embryologie montre en effet que la peau se constitue avant aucun autre organe de la sensibilité externe. Les sens spéciaux se forment ensuite par une différenciation progressive du feuillet cutané. Ils consistent toujours en involutions de la peau et ont pour élément essentiel des cellules épithéliales en forme de petites baguettes reliées directement à des fibres nerveuses. Cette disposition, manifeste dans les organes du goût et de l'odorat, est encore reconnaissable dans les bâtonnets et les cônes de la rétine. Malgré leur conformation si complexe et leur dissemblance d'aspect, l'œil et l'oreille sont construits sur le même type que les corpuscules du tact. En somme, il n'y a qu'un appareil récepteur d'impressions dont la structure varie par places, et les divers sens se ramènent à un épiderme plus ou moins modifié.

Les nerfs sensitifs et les nerfs moteurs doivent être tenus pour homologues, car si physiologiquement, leurs fonctions diffèrent, anatomiquement ils ne se distinguent pas les uns des autres et sont le plus souvent réunis dans un névrième commun. De même, le plan schématique des centres nerveux est identique pour tous et, qu'il s'agisse de cellules simples, de cellules agrégées en ganglions, de ganglions confédérés en système ou de ganglions unis soit en

cordon comme dans la moelle, soit en amas comme dans le cerveau, on a toujours un organe où les excitations sensitives viennent se convertir en incitations motrices. Les centres nerveux dépendent les uns des autres et coordonnent leur action. Quoique les animaux supérieurs aient un double système nerveux investi de fonctions distinctes, le cerveau et ses dépendances, centre de vie consciente, et le grand sympathique, centre de vie organique, correspondent par des nerfs et s'affectent réciproquement.

On discerne même de vagues analogies entre les appareils d'innervation les plus dissemblables. Ainsi, la chaîne ventrale des articulés correspond à la moelle spinale des vertébrés, et le ganglion œsophagien des premiers au cerveau des seconds.

Enfin les deux systèmes sensitif et moteur forment une société si naturelle que, séparés, ils n'auraient plus de raison d'être. L'un commande le mouvement, l'autre l'exécute. « Le système musculaire est le démonstrateur indispensable du système nerveux et les nerfs sont les excitateurs et les coordinateurs nécessaires du système musculaire. » (Cl. Bernard, *Physiologie générale*, p. 14.) Puisque ces deux sortes d'éléments réagissent d'une manière corrélative sous l'influence des mêmes excitants, cela implique une analogie de structure et une solidarité de fonctions. L'irritabilité nerveuse et la contractilité musculaire apparaissent ensemble et progressent parallèlement. Les animaux dont l'appareil d'innervation est rudimentaire n'ont qu'une puissance très bornée de mouvement; les plus sensibles sont aussi les plus actifs.

Chez les êtres animés les deux séries d'organes qui pourvoient à la nutrition et à la vie de relation se complètent l'une l'autre et se développent de concert. La première élabore, répand, épure et révivifie le fluide nourricier sans lequel l'économie ne pourrait durer; la seconde

relie les organes, règle leur action et fait de l'organisme un tout consonnant. Ces corrélations s'étendent fort loin dans le détail et la modification de chaque organe entraîne de subséquentes dans une foule d'autres. « Si les intestins d'un animal sont organisés pour ne digérer que de la chair et de la chair récente, il faut que ses mâchoires soient construites pour dévorer sa proie, ses griffes pour la saisir et la déchirer, ses dents pour la couper et la diviser; le système entier de ses organes de mouvement pour la poursuivre et l'atteindre; ses organes des sens pour l'apercevoir de loin; il faut même que la nature ait placé dans son cerveau l'instinct nécessaire pour savoir se cacher et tendre des pièges à ses victimes. Telles sont les conditions du régime carnivore. Tout animal destiné pour ce régime les réunira infailliblement, car sa race n'aurait pas pu subsister sans elles. » (Cuvier, *Discours sur les révolutions du globe.*)

L'organisation, ainsi étudiée, constitue un ensemble logique sur lequel il est possible de raisonner, parce que ses parties s'expliquent les unes par les autres. On voit la fonction spéciale de chacune d'elles, l'harmonie du tout, et la raison de son unité.

CONCLUSION

Comme inférence finale et résumé des relations particulières, la Morphologie doit établir la notion de l'individualité ou plutôt celle de l'espèce, c'est-à-dire la synthèse d'un groupe de caractères plastiques dans une forme concrète et un type défini.

Pour chaque être considéré à part, mais en son entier, la structure implique l'union d'une quantité d'éléments ou de parties si étroitement liés que leur somme forme un tout clos, un ensemble indivisible pour la pensée. C'est là le sens profond du mot « individualité » (de *in-divi-*

duus). On n'en peut rien séparer sans détruire l'harmonie ou même compromettre l'existence du système.

Lorsque on se demande comment un pareil assemblage a pu se produire, on est amené à penser que l'association a dû jouer un rôle important dans l'évolution des règnes organiques et spécialement du règne animal. La production des formes complexes s'est probablement opérée par la réduction à l'unité de séries de formes élémentaires ou, en d'autres termes, par la transformation de sociétés en individus. Cela paraît évident des cellules et des tissus, et vraisemblable même des organes. L'étude des « colonies » ou « *cormus* » est fort instructive à cet égard. On appelle ainsi des sociétés d'êtres où chaque individu se trouve, quoique distinct et doué d'une vie propre, en continuité de tissu et en solidarité de fonctions avec ses voisins. Cette condition, presque générale parmi les plantes qui, si le bourgeon constitue l'individu véritable, vivraient toutes à l'état de colonies ¹, s'observe fréquemment dans les divisions inférieures du règne animal. Parfois, les individus agrégés se séparent et vont former de nouvelles colonies; d'autres fois, ils se transforment diversement sans se disjoindre et remplissent alors des fonctions spéciales dont le groupe bénéficie. Le travail se divise et les membres de la colonie collaborent dans un intérêt commun. Ainsi, chez les hydractinies, on compte sept sortes d'individus associés (1° nourriciers ou gastrozoïdes; 2° préhenseurs ou dactylozoïdes à capsules urticantes; 3° dactylozoïdes sans bouquets urticants; 4° défenseurs; 5° reproducteurs; 6° mâles; 7° femelles). Il en est de même chez les siphonophores, les coralliaires, etc. Dans les cas de ce genre, la colonie acquiert, en même temps que l'unité morphologique, une sorte d'unité psycholo-

1. Les recherches de MM. Schwendener et Stahl ont révélé un cas plus singulier d'association : les lichens se composent de deux espèces de végétaux distincts, d'une algue et d'un champignon entrecroisés, intimement unis et constituant un seul organisme.

gique par l'effet de laquelle les individus concourent, ont une sorte de conscience collective, s'avertissent réciproquement et se prêtent de mutuels secours. Dans l'embranchement des vers, la forme totale complexe paraît être le produit d'une association de formes simples représentées par les anneaux doués chacun d'une vie propre et appelés « zoonites. » On a soutenu de même que les astéridies et les oursins étaient des colonies de vers soudés par la tête. Il se peut que les vertébrés ne soient pas le produit de l'union d'organes primitivement individualisables; mais ils ne résulteraient pas moins de l'association d'éléments divers et du polymorphisme qui est la conséquence de cette union. Les répétitions d'organes, les faits d'homologie et la genèse même des types pourraient s'expliquer par ce moyen (Perrier, *Cours du Muséum*, et *Les colonies animales*). M. Perrier résume sa théorie de la formation des types complexes dans le principe suivant : « Les organismes supérieurs sont tous le résultat de l'association d'un nombre variable d'organismes plus simples. »

Ainsi l'individualité est une somme organique. « Il faut, dit Darwin, concevoir chaque être vivant comme un microcosme, un petit univers composé d'une foule d'organismes aptes à se reproduire par eux-mêmes, d'une petitesse infinie et aussi nombreux que les astres du firmament. » Ce que la multitude des éléments associés dans une forme, ramenés à son ordre et confondus dans son unité, a de troublant pour la pensée, se change en admiration quand on réfléchit à l'harmonie qui les enchaîne. L'adaptation réciproque de tant de parties qui, sans perdre leur indépendance relative, contribuent à la construction d'un ensemble, et la simplicité du tout résultant de leur diversité même, sont un des phénomènes les plus étonnants de la nature.

Expression de l'accord des parties dans un tout clos, l'individualité a plus ou moins de grandeur et de puis-

sance selon le nombre de ces parties, la variété de leurs formes, l'importance de leurs fonctions et la force du lien qui les unit. Dans le cristal, l'individu véritable est l'élément cristallogénique dont l'agrégat se borne à reproduire le type sous des dimensions amplifiées. L'unité de l'ensemble n'existe que dans l'étendue et se réduit à un fait d'agrégation de parcelles identiques. La plante est encore très faiblement individualisée. Elle constitue moins un individu qu'une collection d'individus représentés par les axes de croissance ou les organes de nutrition, c'est-à-dire par le bourgeon ou la feuille. L'organisme végétal se compose du même organe indéfiniment répété ou peu modifié. Aussi, faute de concentration suffisante, sa synthèse organique est-elle fort imparfaite et les plantes se laissent mutiler impunément ou multiplier par la séparation de leurs parties. Dans l'organisme animal, mieux centralisé, la relation des organes est en général plus intime et leur union devient unité. L'ensemble forme un tout cohérent, une individualité véritable, puisque l'ablation d'un des principaux organes entraîne la mort. D'après la définition de Kant, adoptée par Cuvier, « l'organisme est un tout dont toutes les parties sont réciproquement but et moyen » (*Critique du jugement*, t. II, p. 33). « Quand nous considérons un organisme, dit de même Cl. Bernard, les éléments histologiques qui le composent paraissent créés pour lui, tandis que, quand nous considérons un élément histologique, l'organisme semble fait pour lui. »

Au dessus de l'individualité particulière, il faut instituer l'espèce, unité collective plus complète et supérieure qui seule réalise le type intégral. Par espèce, on doit entendre l'ensemble des faits de conformation propres aux êtres dont l'origine est commune. Bien qu'on ait réuni de tout temps dans un même groupe les formes que rattache le double lien de la ressemblance et de la filiation, on ne trouve pas, avant le xviii^e siècle, de formule scientifique

pour définir l'espèce avec précision. Cette idée, qui autrefois paraissait simple, a été reconnue d'autant plus complexe qu'on l'a mieux approfondie et les naturalistes ne s'accordent pas encore sur ce point. Aristote confondait l'« espèce » (εἶδος, apparence) et le « genre » (γένος, lignée). Linné les a séparés. Son « *Systema naturæ* » (1735) isole la notion d'espèce et fait du genre un groupe d'espèces. Mais la détermination de l'espèce conserve quelque chose de conventionnel et sa fixité même est précaire. D'après les idées qui prévalent actuellement, elle repose sur trois caractères dont aucun pris à part ne suffirait, savoir : 1° la ressemblance, indice généralement consulté, quoique souvent trompeur, car des espèces distinctes comme le cheval et l'âne peuvent se plus ressembler que ne font, dans certaines espèces, les mâles et les femelles ou les générations alternantes ; 2° la filiation, qui pourrait aussi égarer, puisque, la théorie du transformisme faisant dériver les espèces les unes des autres, une filiation prolongée conduirait à réunir les types les plus disparates ; 3° la fécondité continue ; toutefois, ce caractère dépend des limites assignées à l'espèce, et si, avec M. Jordan, on tient pour espèces toutes les races fixées, leurs hybrides seront féconds. Darwin cite même des espèces de fucus dont les éléments mâles de l'une fécondent les ovules de l'autre sans que la réciproque soit vraie, de sorte qu'en un sens les espèces se confondraient et, dans l'autre, seraient distinctes. L'espèce peut admettre dans son unité des formes très dissemblables suivant les races ou variétés, le sexe ou la neutralité des sujets, les métamorphoses, qui sont un cas de polymorphisme individuel, et l'alternance des générations, qui est un cas de polymorphisme spécifique. Enfin, il faut faire entrer dans la notion d'espèce la condition limitative de durée. L'espèce sera donc une collection d'organismes semblables ou issus de parents communs, capables de se reproduire et dans lesquels la majorité des caractères réalise « pour un temps »

un état d'équilibre plus ou moins stable. La détermination de l'espèce, conclusion des recherches de la Morphologie comparée, est surtout importante en ce qu'elle sert de point de départ aux spéculations de la Morphologie générale.

II. — MORPHOLOGIE GÉNÉRALE OU TAXINOMIE

SCIENCE DES CORRÉLATIONS D'ENSEMBLE

THÉORIE DES LOIS DE STRUCTURE

Poursuivons l'étude des corrélations plastiques. Afin d'avoir une claire notion de l'ensemble des formes, il faut établir les rapports des séries et leur assigner des lois d'ordre, c'est-à-dire les classer. Tel est l'objet d'une section de la science à laquelle on donne parfois le nom de « Systématique » ou de « Taxinomie » (de τάξις, arrangement et νόμος, loi) et que nous appellerons « Morphologie générale ».

Quand on cherche à se reconnaître dans la multitude des caractères que présentent les formes et qui permettent tour à tour de les assimiler et de les différencier, on voit que l'unique moyen de les tous embrasser méthodiquement consiste à les distribuer par groupes dont la mention implique ou exclut une collection de traits. Les groupes, comparés les uns aux autres, se ressemblent plus ou moins sans pouvoir jamais ni se ressembler en tout, parce qu'alors il ne serait pas possible de les distinguer, ni différer en tout, parce que, n'ayant plus rien de commun, ils ne pourraient pas figurer dans un même cadre. Les comparer serait inutile, il suffirait de les opposer. Mais, en partie semblables et en partie différents, ils se lient dans un certain ordre et forment une hiérarchie, suivant que les ressemblances croissent ou décroissent. Il importe de déterminer ces corrélations à tous les degrés. Chaque groupe, confronté à tous les autres,

doit être mis au rang que lui assigne la somme de ses analogies et de ses disparités. C'est là le résultat auquel tend la classification, catalogue raisonné où les espèces sont réparties de manière à rendre manifestes leurs rapports les plus étendus. Sans coordination de ce genre, le monde des faits de structure serait une vaste confusion.

Les classifications sont artificielles ou naturelles selon qu'elles se fondent sur l'appréciation d'un seul caractère ou sur celle de l'ensemble des caractères. Au début, la connaissance des formes étant superficielle et sommaire, les principaux groupes furent établis par la considération des indices les plus apparents ou même en vertu de simples conventions d'esprit. Ainsi Aristote répartissait les animaux, d'après leur habitat, en terrestres, aquatiques et aériens, et cette division, qui n'avait rien de morphologique, a fait loi pendant tout le moyen âge. Buffon, admettant un principe plus irrationnel encore de distinction, se contente de partager les espèces en domestiques et en sauvages. Des modes instinctifs et par cela même moins arbitraires de classement se sont référés à des ressemblances de type ou à des spécialités d'organes. Le langage désigne par des noms communs les animaux qui marchent sur quatre pieds (quadrupèdes), ceux qui rampent (reptiles), ceux qui volent (oiseaux) et ceux qui nagent (poissons). La science première, par la conception et l'expression des idées générales, fournissait ainsi une multitude d'indications taxinomiques, mais sommaires et sans précision. Plus tard, les initiateurs de la botanique ont distribué les plantes en consultant soit la conformation de la corolle comme Tournefort, soit la disposition des étamines comme Linné. Les classifications de ce genre qui, dans des formes souvent très complexes, considèrent un détail unique, établissent un ordre factice dont les avantages sont fort restreints. A mesure que les faits furent mieux connus, on se rapprocha de la classification naturelle qui, tenant compte des caractères les plus importants, a

la même fixité qu'eux et signale des lois véritables. « Il ne peut y avoir, dit Cuvier, qu'une méthode parfaite qui est la méthode naturelle. On appelle ainsi un arrangement dans lequel les êtres de même genre seraient plus voisins entre eux que ceux de tous les autres genres; les genres de même ordre que ceux de tous les autres ordres et ainsi de suite. Cette méthode est l'idéal auquel l'histoire naturelle doit tendre; car il est évident que si l'on y parvenait on aurait l'expression exacte et complète de la nature entière. » (*Règne animal*, Introduction.) Il importe néanmoins de ne pas se faire illusion; nos classifications, si naturelles qu'elles puissent devenir, seront toujours artificielles. Elles constituent des répartitions systématiques, des vues de la raison dans lesquelles ne se renferme pas l'action continue de la nature¹ et dont l'utilité se borne à faciliter la diagnose plastique, en montrant par abrégé dans quelle mesure les formes se ressemblent ou diffèrent par séries.

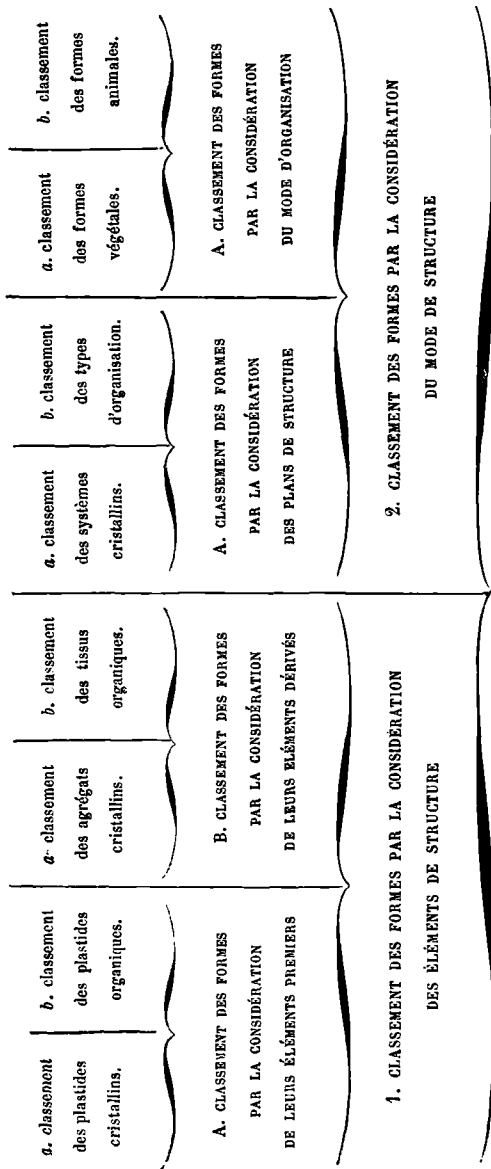
La méthode naturelle, indiquée par Magnol (*Prodromus historiae generalis plantarum*, 1689), puis esquissée par Linné (*Philosophia botanica*, 1751), fut instituée par Laurent de Jussieu (Préface du *Genera plantarum*, 1789). Ce dernier prit pour base de la classification botanique les caractères dominateurs qui, exerçant sur l'ensemble de l'organisme une influence décisive, ont le plus de constance et de valeur. L'intérêt des caractères accessoires se mesure ensuite sur le degré de leur dépendance. Cuvier appliqua le même système au monde animal (1817). Toutefois la méthode naturelle est plutôt ébauchée qu'achevée. Le caractère prépondérant, bien déterminé chez les plantes, est plus difficile à discerner chez les animaux et la zoologie ne l'a pas encore mis pleinement en évidence. Quant aux caractères subor-

1. « La nature n'admet ni classes, ni genres; elle ne comprend que des individus. » (Buffon.)

donnés, nulle règle sûre ne préside à leur classement et la porte reste ouverte à l'arbitraire. La méthode la plus rationnelle, proposée par Adanson (*Familles des plantes*, 1763) et suivie de nos jours par M. Baillon (Préface du *Dictionnaire de Botanique*), consisterait à tenir compte de tous les caractères dans la mesure de leur importance et dans l'ordre de leur développement. Se réduire à comparer des adultes, c'est ne voir qu'un côté de la question. Pour en embrasser les divers aspects, il faudrait comparer les types à divers âges, considérer la suite des formes que chacun d'eux revêt durant le cours de l'évolution des êtres qui le représentent et noter le point précis où les différences se produisent. D'après la loi de Von Baer, les êtres ont le plus de ressemblance pris à leur point de départ et se différencient par degrés jusqu'à l'achèvement de leur structure. « L'être vivant, dit-il, provient d'une cellule primitivement identique, l'œuf primordial; il s'édifie par formation progressive ou épigenèse, par suite de la prolifération de cette cellule primitive d'où procèdent des cellules nouvelles qui se différencient de plus en plus et s'associent en cordons, en tubes, en lames, pour arriver à constituer divers organes. Cette structure va se compliquant successivement, de manière que les formes se particularisent de plus en plus, à mesure que le développement avance. C'est la forme la plus générale, celle de l'embranchement, qui se dessine la première, puis celle de la classe, puis celle de l'ordre et ainsi de suite jusqu'à l'espèce. » (*Embryologie des animaux*.) La Taxinomie devrait donc établir ses divisions principales en comparant les formes le plus près possible de leur origine, et ses subdivisions d'après leurs stades de complication graduelle, afin de montrer comment la série des caractères se détermine peu à peu. Tant que les formes embryogéniques se ressemblent, les groupes se confondent. Ils ne deviennent distincts qu'au moment où les différences se manifestent et le caractèr

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE STRUCTURE



CLASSIFICATION DE L'ENSEMBLE DES FORMES. UNITÉ DE LA CRÉATION PLASTIQUE

qui apparaît alors prend à cette date le plus de valeur.

Le nombre des groupes taxinomiques à constituer semble devoir être facultatif et dépendre uniquement des convenances de l'étude ; cependant, la clarté de l'ensemble gagnerait à ce qu'il ne fût pas excessif. Les naturalistes ont multiplié les sections outre mesure et l'on a peine à ne pas se perdre dans la multitude confuse de leurs divisions (règles, embranchements, classes, ordres, familles, tribus, genres, espèces, races et variétés), dont les frontières ne sont pas toujours nettement marquées. Les principaux groupes devraient correspondre aux distinctions établies entre les faits de conformation. En conséquence, nous tiendrons compte, d'abord des éléments de structure, puis des modes de structure. Les premiers indices, dont l'importance est générale et décisive, serviront à instituer les séries les plus étendues, empires et règnes ; les seconds, dont la valeur est restreinte et subordonnée, motiveront le sectionnement des groupes moindres. Voyons comment les formes se classent quand on les compare successivement sous ces deux aspects.

1. — CLASSEMENT DES FORMES PAR LA CONSIDÉRATION DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

Lorsqu'on examine l'ensemble des corps au point de vue de leur condition plastique, une première distinction s'impose, suivant qu'ils n'ont pas ou qu'ils ont une structure déterminée. La totalité des choses se partage ainsi en deux divisions qui comprennent : l'une, les substances amorphes (gazeuses ou liquides) dont l'état de diffusion exclut toute idée d'agrégat fixe et de forme persistante ; l'autre, les corps (solides ou mi-solides) qui réalisent des formes arrêtées et stables. Ce sont là, pour la Morphologie, deux « mondes » différents. La plasticité, à l'état virtuel dans l'un, se montre à l'état actuel dans

l'autre. On ne peut que constater l'existence du premier; le second seul se prête à des investigations suivies.

L'indice le plus important à consulter pour répartir le monde des formes définies doit être cherché dans la nature de leurs éléments. La configuration initiale des matériaux de structure décide en effet du système de construction et détermine tous ses développements. Il y aurait à faire intervenir d'abord la considération des plastides, ensuite celle de leur mode d'assemblage.

A. — Classement des formes d'après les éléments premiers de structure.

Nous avons distingué deux sortes d'éléments premiers, les uns polyédriques ou cristallins, les autres cellulaires ou organiques. Leur différence est si grande qu'ils ne sont pas susceptibles de s'unir. Par suite, le monde des formes se divise en deux séries exclusivement construites l'une avec des éléments cristallogènes, l'autre avec des éléments cellulaires. On les désigne communément sous les noms de corps bruts et de corps vivants; mais ces termes se réfèrent aux fonctions plutôt qu'aux formes. Les expressions d'anorganismes et d'organismes seraient moins impropres; néanmoins la première est simplement négative et la seconde souvent inexacte, puisque les corps réduits à une seule cellule ou à une seule sorte de tissu n'ont pas d'organes distincts et ne méritent guère, quoique vivants, la qualification d'organisés. Le trait caractéristique des deux grandes catégories de formes consiste en cela que, dans un cas, les plastides sont polyédriques et rigides, dans l'autre curvilignes et flexibles. Nous aurons ainsi deux groupes tranchés, deux « empires » que, pour nous conformer à l'usage, nous appellerons l'empire inorganique et l'empire organique.

a. — L'empire inorganique se compose de toutes les

I. BOURDEAU.

II. — 27

formes construites avec des plastides cristallins, c'est-à-dire chimiquement stables, solides et polyédriques. L'invariabilité des lois de composition, d'état physique et de configuration entraîne pour ces matériaux l'uniformité de mode de structure, et la permanence de la cohésion assure la durée de leurs agrégats.

Faute de caractères différentiels, il n'y a pas à diviser la création cristalline par la considération de ses éléments premiers. On pourrait, il est vrai, distinguer ceux des plastides qui, réguliers, ne comportent qu'un système de construction, et ceux qui, symétriques, en admettent plusieurs; mais cette différence n'a pas assez d'importance et de généralité pour motiver une bipartition de l'empire inorganique en règnes distincts.

b. — L'empire organique comprend les corps construits avec des plastides à contours curvilignes, demi-fluides et faciles à modifier au point de vue soit de leur composition, soit de leur forme. Au lieu de persister dans une condition fixe, ces éléments évoluent et parcourent un cycle de changements qu'on appelle vie.

La variabilité des plastides organiques nous oblige à subdiviser en « règnes » l'empire des formes vivantes; mais il conviendrait de les établir autrement que ne l'ont fait les naturalistes. Nous avons critiqué le nom de règnes également donné aux minéraux, aux plantes et aux animaux, car il porterait à supposer les trois groupes séparés par des différences de même ordre, ce qui est loin d'être exact, le premier différant des deux autres beaucoup plus que le second du troisième. Nous ne croyons pas davantage qu'on puisse appliquer indifféremment le nom de règne aux protistes, aux végétaux et aux animaux. Après les avoir réunis sous le titre d'empire organique, nous les partagerons en deux règnes, savoir : 1° le règne des protistes, composé de toutes les formes dont la structure n'admet qu'une sorte de cellules (isolées ou agrégées);

et 2° le règne des formes composées ou des organismes véritables qui associent plusieurs sortes de cellules. C'est là une distinction de la plus haute importance fondée sur le contraste de la simplicité des formes élémentaires et de la complication des formes réellement organisées.

B. — Classement des formes d'après les éléments dérivés de structure.

Après le caractère que nous venons d'indiquer, celui qui a le plus de valeur le suit immédiatement dans l'évolution des formes et se tire du mode de groupement des plastides. Ceux-ci, en effet, ne se montrent isolés qu'à l'état de précipités ou d'organites unicellulaires. La plupart des corps que nous connaissons consistent en agrégats d'éléments et doivent être répartis d'après la manière dont ce groupement initial s'effectue. Voyons quels indices taxinomiques il est susceptible de fournir dans les deux systèmes de l'architecture cristalline et de la texture organique.

a. — Le mode d'assemblage des plastides cristallins n'est pas un caractère qu'on puisse utiliser pour le classement des anorganismes, à cause de son uniformité générale. Des éléments polyédriques, compacts et rigides, ne s'agrègent qu'en adhérant par leurs faces et ce système de construction est identique pour tous les cristaux.

On pourrait sans doute établir une distinction entre ceux dont les éléments réguliers s'unissent d'une manière invariable, et ceux dont les éléments symétriques se prêtent à prendre divers modes d'arrangement qui constituent des cas de polymorphisme. Mais une différence de ce genre ne caractériserait pas assez nettement les groupes, et l'indice plus significatif des plans doit ici prédominer. Conséquemment l'empire inorganique reste indivis au point de vue des éléments de structure, et

l'absence de traits généraux qui s'y rapportent ne permet de le partager ni en règnes, ni en sous-règnes.

b. — Il en est autrement de l'empire des formes vivantes. Par suite de leur composition complexe, de leur condition semi-fluide et de leur flexibilité générale, les cellules ont des modes variés de groupement. Comprimées les unes par les autres, elles se déforment, s'entre-croisent et les tissus qu'elles produisent se lient eux-mêmes diversement. Il faut tenir compte, dans le classement des êtres, de cette cause importante de différenciation.

A raison de leur simplicité de structure, les protistes, faits d'une seule sorte de cellules, se rapprochent des corps bruts. Les différences de tissu sont chez eux trop mal accusées pour pouvoir servir de base à une répartition du règne, et le plan seul, comme pour les cristaux, est susceptible de fournir des caractères taxinomiques. Ce groupe constitue pour ainsi dire une création intermédiaire entre les corps bruts et les corps vivants, car les protistes ressemblent aux premiers par l'homogénéité de leurs matériaux et aux seconds par la rénovation continue de leur substance, mais ils s'en distinguent par l'absence de tissus modifiés et, conséquemment, d'organisation. Leurs trames ambiguës restent indéterminées entre les tissus passifs des plantes et les tissus actifs des animaux. Elles se rapprochent par degrés de l'une ou de l'autre classe et une étude plus approfondie parviendra peut-être à partager le règne des protistes en deux « sous-règnes », celui des « protophytes » et celui des « protozoaires ».

Une subdivision plus nette s'établit entre les organismes suivant que leurs tissus sont de même type et peu modifiés, ou de types différents et très modifiés. Les trames organiques les plus simples, faites de cellules interposées et réduites à des fonctions nutritives ou repro-

ductrices, portent le nom de tissus passifs; les plus complexes associent étroitement des éléments transformés, les font réagir de concert par suite d'irritations spéciales et composent le groupe supérieur des tissus actifs. Cette distinction fondamentale conduit à diviser le règne des formes organisées en deux sections, savoir : 1° le sous-règne des végétaux, entièrement construit avec des tissus passifs et limité à un seul ordre de fonctions; 2° le sous-règne des animaux, dont la structure, unissant des tissus passifs et des tissus actifs, rend les êtres propres à deux ordres de fonctions.

Ainsi la détermination des éléments dérivés de structure fournit une caractéristique essentielle pour répartir l'empire des formes vivantes. Faute d'avoir reconnu l'importance de cette donnée, la science a été longtemps impuissante à marquer avec précision la limite entre les principaux groupes, comme en témoignent les noms de « zoophytes » (animaux plantes), d'« anthozoaires », (animaux fleurs), de « zoospores », d'« anthérozoïdes », etc. C'est qu'on tenait compte de fonctions mal connues plutôt que de la structure élémentaire. Toute incertitude cesse dès qu'on examine la nature des tissus et l'étendue de leurs modifications.

En résumé, la Taxinomie doit demander aux éléments plastiques ses premiers et plus importants indices. Leur étude donne le moyen d'opérer un débrouillement sommaire de l'ensemble et de tracer les grandes lignes de la classification. Les substances amorphes mises à part ou mieux en réserve, le monde des formes définies se partage en deux empires, suivant que les éléments de structure sont polyédriques (corps bruts) ou cellulaires (corps vivants). L'empire des êtres vivants se divise ensuite en deux règnes, l'un où les formes se construisent avec une

seule sorte de plastides (protistes), l'autre où elles en admettent plusieurs (organismes). Enfin, le règne organique se subdivise en deux sous-règnes par la considération des tissus, soit exclusivement passifs (plantes), soit combinés avec des tissus actifs (animaux). Ces séries principales établies, voyons comment il convient de les répartir à leur tour.

2. — CLASSEMENT DES FORMES D'APRÈS LES MODES DE STRUCTURE

Comme les matériaux de structure, simples et fixes, nous ont servi à déterminer les groupes les plus étendus, les modes de structure, complexes et variables, doivent maintenant être consultés pour caractériser, à l'aide d'indices secondaires, les groupes restreints des formes composées. Il convient de considérer, d'abord le plan de structure, dont l'ordre est relativement stable, puis le mode d'exécution de ce plan qui se prête à des variations indéfinies.

A. — Classement des formes par la considération des plans de structure.

Il faut *premièrement se référer au plan de structure* qui mesure et délimite la forme, car c'est là un caractère d'une très grande valeur. Examinons-le dans les deux systèmes rectiligne et curviligne, c'est-à-dire dans les deux groupes des corps bruts et des corps vivants.

a. — L'empire inorganique, pour la division duquel les éléments et leurs modes d'assemblage ne fournissent pas d'indices suffisants, doit être scindé par la considération des plans de structure dont les différences sont mieux accusées. Aussi la classification des cristaux se

fonde-t-elle entièrement sur la comparaison de leurs axes et de leurs faces.

Les axes constituent le caractère principal. Haüy (*Traité de minéralogie*, 1801) a distribué les cristaux, d'après la longueur et la position respective de leurs axes, en six groupes ou « systèmes » qui représentent les embranchements de la cristallologie. Ce sont : 1° le système régulier, où les trois axes sont égaux et perpendiculaires entre eux (cube, octaèdre, dodécaèdre, tétraèdre); 2° le système tétragonal, dans lequel les axes sont perpendiculaires entre eux, mais deux seulement égaux (prisme droit à base carrée); 3° le système hexagonal ou rhomboédrique, comprenant les cristaux qui ont quatre axes, trois égaux dans un même plan, un inégal et perpendiculaire; 4° le système rectangulaire droit ou rhombique, avec trois axes perpendiculaires, mais inégaux; 5° le système rectangulaire oblique ou monoclinique, caractérisé par trois axes obliques l'un sur l'autre et dont deux seulement sont égaux; 6°, enfin, le système du prisme oblique à base de parallélogramme ou triclinique, dont les axes sont à la fois obliques et inégaux. Toutes les combinaisons possibles d'axes rentrent dans ces six cas.

Extérieurement, les cristaux sont limités par des faces qui se coupent en formant des arêtes et des angles. Leur disposition très variable sert à caractériser les espèces.

Ces deux sortes d'indices taxinomiques ne permettent pas à la classification des corps bruts de prendre de grands développements. Les seuls traits distinctifs dont on puisse faire usage se réduisent aux axes et aux faces. Or, le premier est trop général et le second trop spécial. Le manque de degrés intermédiaires pour disposer hiérarchiquement les groupes oblige de passer sans transition de l'embranchement à l'espèce. Il en résulte que l'emploi des doubles dénominations introduit par Linné dans la taxinomie des organismes et si utile pour distribuer avec ordre une multitude d'espèces dans un nombre

limité de genres, n'a pas jusqu'ici trouvé d'application en cristallogie. On réunit communément dans un même genre les composés qui renferment le même principe chimique, basique ou acide; mais si la minéralogie, science particulière, a raison de consulter la composition plutôt que la structure parce que, pour la connaissance des corps, la première importe plus que la seconde, la Morphologie, science générale, doit ne considérer que la forme. Peut-être sera-t-il possible un jour de faire concorder les deux indices, quand on aura mis en lumière la relation qui les lie. Mitscherlich, par sa découverte de l'isomorphisme, a montré le rapport qui unit l'analogie de composition et la similitude de structure; mais, tant qu'on ne pourra pas en suivre les conséquences à travers les entre-croisements des faits, il sera malaisé d'établir des genres, et la multiplicité des espèces, mal coordonnée dans le cadre trop large des « systèmes », restera confuse.

b. — Le plan de structure des êtres vivants, sans avoir moins de valeur que celui des cristaux, a moins de netteté parce que l'ordonnance de l'ensemble se dissimule sous la multitude des détails d'organisation.

Comme les corps bruts, les protistes, faits d'une seule sorte d'éléments et dépourvus d'organes spéciaux, ne peuvent être distingués et classés que par des considérations relatives aux différences de plan; mais ces indices sont difficiles à reconnaître chez des êtres dont les formes changeantes semblent avoir pour unique loi un polymorphisme indéfini. Le trait caractéristique des protistes est leur nature hétéromorphe. Une sorte d'indifférence morphologique les dispose à revêtir les formes les plus diverses. Certains types rudimentaires, simples glomérules de substance contractile, n'ont pour ainsi dire pas de forme arrêtée ou plutôt en changeant continuellement. Ceux dont l'apparence reste stable manquent de res-

semblance fixe dans un même groupe et diffèrent par degrés insensibles. On ne sait où poser des limites et l'idée d'espèce n'est pas applicable à des séries comme les radio-laires, les foraminifères et les éponges. Dans l'évolution de ces types, non encore fixés, les influences du milieu prévalent sur celles de l'hérédité. Il semble que la plasticité, préluant à son œuvre d'organisation, se joue à produire en eux toutes les combinaisons possibles de lignes et de contours. La création de ces minuscules ébauches rappelle la phase initiale du développement des formes, alors que la vie naissante, au sortir du protoplasme originel, hésitait entre les deux grandes voies de la végétation et de l'animalité. Linné a qualifié de « chaos » le règne confus des protistes. D'autres l'ont appelé « amphorganique » ou « psychodiaré » (de ψυχῆ, δία), etc. (voy. Isid. G. Saint-Hilaire, *Histoire naturelle générale des règnes organiques*, t. II, p. 34 et suiv.). L'indétermination des caractères, leur défaut de constance et de généralité, font du classement des protistes un problème que la science n'a pas encore résolu. Haeckel distingue huit groupes principaux : 1° les monères, simples cellules sans noyau ; 2° les amiboïdes ou protoplastes, qui possèdent un noyau ; 3° les flagellates ou infusoires vibratiles ; 4° les catallactes ; 5° les labyrinthules ; 6° les diatomées ; 7° les champignons muqueux ou myxomycètes ; 8° les rhizopodes. Peut-être faudrait-il y comprendre aussi les champignons, les éponges et les noctiluques (*Histoire de la création*, p. 372, 3).

La considération du plan de structure, très nette en cristallologie, peu distincte en protistique, ne suffirait pas à classer les organismes complexes dont les formes sont rendues prodigieusement variables par la disposition des organes. Il faut alors tenir compte à la fois du plan et de son mode d'exécution.

B. — Classement des formes composées d'après le mode d'organisation.

Nous avons réparti les organismes en deux sous-règnes d'inégale complexité, les plantes et les animaux. Examinons-les séparément.

a. — Chez les végétaux le plan de structure ne présente pas de caractères assez tranchés pour que la Taxinomie puisse établir sur cette base la distinction de ses principaux groupes. Cela tient à ce que, en général, les plantes sont moins des individus véritables que des collections d'individus dont le mode d'assemblage n'a qu'une importance secondaire au point de vue de la constitution du type. L'indice essentiel doit alors être cherché dans la conformation des organes qui servent au développement de l'individualité végétale ou à sa régénération (axe de croissance, semences et fleurs).

Les classifications botaniques dues à Tournefort (1697) et à Linné (1735-1751) avaient le défaut d'être artificielles. Celle qu'établit Laurent de Jussieu (« *Genera plantarum secundum ordines naturales disposita* », 1789), conformément aux principes de la méthode naturelle, se fonde sur la valeur et la subordination des caractères. Puisque la plante ne possède que deux sortes d'organes consacrés les uns à la nutrition, les autres à la reproduction, il y a lieu de distinguer d'abord les types qui sont réduits à des organes nutritifs et ceux qui ont en outre des organes reproducteurs (« cryptogames » et « phanérogames » de Linné, « acotylédonés » et « cotylédonés » de Jussieu). Les végétaux du premier groupe se propagent au moyen de « spores », simples cellules détachées de l'organisme générateur et privées d'appendices embryonnaires (« cotylédons »). Les tissus faiblement différenciés des cryptogames les font partager en « cellulaires » et en « vascu-

laires » suivant qu'ils sont dépourvus ou munis de vaisseaux où circule la sève. Des organes spéciaux apparaissent chez les seconds sous forme de parties axillaires (tige, racines) et d'appendices foliacés.

Tandis que les cryptogames se reproduisent par de simples cellules germinatives, les phanérogames proviennent d'une graine qui renferme comme une réduction de la plante. La formation de ce germe complexe exige des organes appropriés et les végétaux s'enrichissent de parties qui constituent les fleurs et les semences. Leur structure fournit les indices d'après lesquels on classe les types supérieurs du règne végétal. Le caractère le plus important se tire de la disposition de l'embryon et de la présence d'un ou de deux cotylédons. En conséquence, les phanérogames ou « cotylédonnés » sont répartis en 1° « monocotylédonnés », et 2° « dicotylédonnés ». Brongniart a fait admettre une subdivision des dicotylédonnés en 1° « gymnospermes » ou plantes à semences nues et 2° « angiospermes », dont les graines sont contenues dans un fruit.

Ces sections principales ainsi constituées, les groupes ultérieurs se déterminent à l'aide de caractères divers tels que les enveloppes florales, l'indépendance ou l'union de leurs pièces, le nombre et le mode d'insertion des étamines, la disposition du pistil, de l'ovaire, etc. On divise les dicotylédonnés angiospermes en « apétales » ou « monochlamydés » chez lesquels la corolle et le calice se confondent, et en « pétalés » ou « dichlamydés » chez lesquels ils sont distincts. Les plantes à corolle se partagent en « polypétales » et « gamopétales » selon que la corolle est divisée ou unie, etc. L'étude des autres parties de la fleur, des feuilles, de la tige, etc., motive ensuite des distinctions accessoires qui servent à différencier les derniers groupes. Néanmoins, la subordination des caractères est encore assez mal établie dans l'ensemble de la flore, car les botanistes ne s'accordent pas sur la question de savoir quelles

sont les plantes les plus parfaites : pour A. L. de Jussieu, ce seraient les labiées ; pour de Candolle, les renonculacées, et pour A. de Jussieu, les composées. Une pareille incertitude témoigne d'un peu de confusion dans l'appréciation des indices taxinomiques.

b. — En raison de la diversité de ses parties, l'organisme animal présente des caractères si nombreux que leur richesse est embarrassante à classer. On a consulté d'abord les plus apparents, car les plus importants étaient difficiles à reconnaître et, même aujourd'hui, la lumière n'est pas entièrement faite sur ce point. Aristote avait proposé des divisions sommaires sans chercher à établir une classification systématique, œuvre impossible de son temps. Linné mit le premier quelque ordre dans le chaos de la zoologie. Depuis un siècle les plans de répartition de la faune se sont multipliés. Lamarck, Cuvier, de Blainville, Ehrenberg, Burmeister, Owen, Milne-Edwards, Leuckart, Oken, von Baer, Haeckel, etc., ont proposé des systèmes peu concordants dont le nombre même atteste la commune insuffisance. La classification zoologique est encore en partie artificielle et repose sur l'appréciation de caractères dont la valeur hiérarchique n'est pas nettement fixée.

Cuvier appliqua la considération du plan de structure à la taxinomie des animaux (*Annales du Muséum*, 1812) et s'en servit pour constituer des « embranchements » dans le règne. « Il existe, dit-il, quatre formes principales, quatre plans généraux d'après lesquels tous les animaux semblent avoir été modelés et dont les divisions extérieures ne sont que des modifications assez légères fondées sur le développement ou l'addition de quelques parties qui ne changent rien quant à l'essence du plan. » Ces quatre types fondamentaux de Cuvier, reconnus dans le même temps par von Baer, étaient : 1° les rayonnés, dont le plan consiste en une disposition des parties autour

d'un axe central; 2° les mollusques ou animaux mous (*mollusca*), dépourvus de membres et réduits à l'apparence d'un sac; 3° les annelés ou articulés, faits d'anneaux mobiles qui s'articulent bout à bout et renferment les organes; 4° les vertébrés, caractérisés par un axe intérieur solide délimitant deux cavités distinctes où sont contenus, d'une part les organes de nutrition, de l'autre ceux d'innervation. La détermination du dernier groupe, le plus élevé de la série, était due à Lamarck qui, par une vue de génie, réunit les quatre classes indépendantes de Linné (poissons, amphibiens, oiseaux et mammifères), découvrant ainsi l'unité du type sous la diversité des formes. Postérieurement à Cuvier, on a divisé l'embranchement des articulés en arthropodes et vers, comme celui des rayonnés en échinodermes et zoophytes. Haeckel admet six groupes rangés dans l'ordre suivant : zoophytes, vers, mollusques, échinodermes, arthropodes et vertébrés (*Histoire de la création*, p. 446).

Après avoir ainsi établi les embranchements par la considération des plans de structure, on les subdivise par celle de leur mode d'exécution. Le classement des invertébrés est encore fort défectueux à cause de la connaissance imparfaite que l'on a de leurs organes et de la difficulté d'en apprécier la valeur. — On répartit les zoophytes en « coralliaires », « zoanthaires » (actinies, etc.) et « acalèphes » (méduses); — les vers en « acéelomes » et en « céelomates » suivant qu'ils sont dépourvus ou pourvus d'une cavité splanchnique; — les mollusques en « acéphales » et en « céphalés »; — les échinodermes en « astérides », « crinoïdes », « échinides » et « holothuries ». — Parmi les arthropodes, on distingue les « crustacés », qui respirent par des branchies, et les « insectes » ou « trachéates », qui respirent par des trachées. Les myriapodes, les arachnides et les insectes proprement dits forment des séries distinctes. Ces derniers qui, par le nombre de leurs espèces, l'emportent sur tous les autres groupes d'animaux

réunis, ont été classés par Geoffroy d'après les indices tirés des ailes (« aptères », « diptères », « coléoptères », « orthoptères », « hémiptères », « névroptères », « hyménoptères », « lépidoptères »), et, par Fabricius, d'après la conformation de l'appareil buccal (« *mordentia* », « *lambentia* », « *pungentia* », « *sorbentia* », suivant qu'ils broient leurs aliments, lèchent, piquent ou aspirent). La taxinomie entomologique est un problème très complexe, à cause de la multiplicité des formes dans un même groupe, de la disparité des sexes ou des neutres dans la même espèce et des métamorphoses que subit le type individuel. Tous les insectes paraissent se rattacher à un même type dont la variabilité n'a pas de limites.

Par suite du nombre, de la valeur et de la constance des caractères, la classification des vertébrés est moins incertaine et mieux établie. Linné les avait distribués en quatre classes, « poissons », « amphibiens », « oiseaux » et « mammifères ». Cuvier adopta ces divisions; mais de Blainville fit admettre la séparation des amphibiens en deux classes, les « batraciens » et les « reptiles », les premiers plus voisins des poissons (« ichtyoïdes ») et les seconds des oiseaux (« ornithoïdes »). On a proposé d'autres systèmes en se référant à des caractères embryologiques. Les vertébrés se partageraient alors en deux groupes selon qu'ils se reproduisent par des œufs contenant les substances dont l'embryon détaché vit durant les premiers temps de son existence ou que les petits viennent au monde vivants et sont allaités par leur mère. D'autres divisions se fondent sur la considération de l'amnios et du placenta, organes embryonnaires qui correspondent à ceux de la graine dans les plantes et procurent un développement plus complet. Les « anamniotes » comprennent les poissons et les batraciens; les « amniotes », les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Parmi ceux-ci, on distingue les « ornithodelphes » ou « monotrèmes », pourvus d'un cloaque comme les reptiles

et les oiseaux; 2° les « didelphes » ou « marsupiaux », dont les petits naissent imparfaits et subissent une seconde gestation dans une poche marsupiale; 3° les « monodelphes » ou placentaires, qui viennent au monde complètement développés. Les placentaires se divisent à leur tour en « villaplacentaires » (ongulés, cétacés, édentés); « zonoplacentaires » (carnassiers); et « discoplacentaires » (rongeurs, insectivores, cheiroptères, simiens, homme). Enfin les groupes les plus restreints se différencient par des particularités tirées de tous les genres d'organes.

Considérée dans son ensemble, la classification zoologique prête à de graves critiques et doit être tenue pour provisoire. Dans les embranchements inférieurs, la confusion est extrême. L'embranchement supérieur lui-même n'est pas réparti d'après des indices subordonnés avec précision. On consulte tel ou tel détail d'organisation, la présence ou l'absence de vertèbres, les conditions de la vie embryonnaire, le régime, la forme de la bouche, des dents, des ongles, des téguments superficiels, etc. Nulle règle généralement admise ne dirige les classificateurs dans le choix des caractères, et la convention ou la fantaisie en décide. Leur attention semble s'être principalement portée sur les organes de la vie végétative et viser à établir un parallélisme exact avec la classification botanique¹. Mais, les conditions plastiques étant différentes, les caractères principaux ne sauraient être les mêmes. Si, pour les végétaux, on est réduit à consulter les organes de nutrition et de reproduction, seuls indices taxinomiques, les animaux, dans la structure desquels les organes de sensation et de mouvement occupent le plus de place et

1. Ainsi, la classification de van Beneden, fondée sur l'embryologie, distingue : 1° des « hypocotylédonés » ou « hypovitelliens » (vertébrés); 2° des « épicotylédonés » ou « épivitelliens » (articulés); et 3° des « allocotylédonés » ou « allovitelliens » (mollusco-radiaires). C'est là de la zoologie botanique (voy. Agassiz, *De la classification*, p. 369).

ont le plus d'importance, devraient être surtout classés par la considération des caractères tirés de la vie de relation. En réalité, l'anima. est double. Il y a en lui deux organismes accouplés, l'un végétatif, borné à des fonctions trophiques ou reproductrices, l'autre animé, qui sent et se meut. Or, le premier, par lequel il se rapproche des plantes, est inférieur et subordonné; le second, qui le caractérise dans la série des êtres, est supérieur et prépondérant. C'est lui qui, prenant en quelque sorte possession de l'organisme, le met en action, le dirige et devient son modificateur le plus puissant. Le système nerveux, dont Cuvier dit qu' « il est l'animal tout entier », doit servir avant tout autre indice à classer les êtres animés.

Dès la phase embryonnaire, sa prédominance apparaît. La disposition de l'appareil d'innervation trace le plan de structure et relie les organes au fur et à mesure de leur développement. Lorsque, dans l'œuf des vertébrés, l'aire germinative commence à se diviser, celle de ses couches qui se spécialise la première, le feuillet externe ou animal, donne naissance au système nerveux central et aux organes des sens. A ce linéament initial se rattachent ensuite les systèmes vasculaire et conjonctif. L'embryon ne possède encore aucun organe distinct de nutrition que déjà les ampoules cérébrales sont visibles. Dans un fœtus humain de deux mois, l'encéphale représente plus de la moitié du corps. Le cœur, organe musculaire, régi par des cellules nerveuses indépendantes, entre le premier en activité et, dès la vingt-sixième heure de l'incubation, le tube d'où il proviendra laisse discerner chez le poulet des indices de pulsation rythmique. Le système nervoso-musculaire constitue donc le *primum movens* de l'organisation animale. Il coordonne les organes et les dispose à fonctionner de concert. Lorsque, ensuite, l'organisme, pleinement développé, se gouverne par ses propres lois, c'est encore le système nerveux qui,

en conséquence d'impressions subies et de réactions exercées, l'adapte incessamment aux conditions du milieu.

Il y aurait, croyons-nous, à refondre la classification zoologique pour l'établir sur la distinction des organes de la vie animale de préférence à celle des organes de la vie végétative. La conformation des centres nerveux, l'irradiation des nerfs afférents ou déférents, la structure des organes de sensation et de locomotion, voilà les indices dont il faudrait surtout tenir compte, dans l'ordre de leur subordination. Il est juste de dire, à la décharge des zoologistes, que, l'anatomie du système nerveux ayant été tardivement abordée et même n'étant pas encore bien connue, ils n'avaient pas le choix des caractères et se trouvaient réduits à consulter les plus apparents; mais, comme ce sont les moins significatifs, ils n'ont pu fonder que des classifications provisoires et précaires. Les données prises en considération ne comportaient pas de plan général de coordination ni d'unité. On doit donc chercher ailleurs un principe de corrélations suivies. Indiquons à grands traits comment il serait possible d'opérer un classement rationnel.

Puisque l'attribut distinctif de l'organisme animal est l'existence d'un système nerveux, nous éliminerons de ce groupe et rangerons parmi les protistes tous les êtres qui, bien que doués de motilité et par là supérieurs aux végétaux, ne laissent discerner dans leur structure aucune trace d'appareil d'innervation. Dépourvus d'organes spéciaux de sensation, de centralisation et d'action, ils ne sont pas « animés ».

Le sous-règne animal, caractérisé par la présence d'un système nerveux, se diviserait, si l'on tient compte de son degré de développement, en deux séries principales, suivant que l'appareil constitué des ganglions soit épars, soit simplement reliés, ou qu'il compose une fédération de ganglions soit disposés en file continue dans une moelle

épineière, soit agglomérés dans un cerveau⁴. Cette division coïncide avec celle que Lamarck a fait prévaloir des invertébrés et des vertébrés, mais elle est plus rigoureuse en ce qu'elle se fonde sur l'existence d'un cordon spinal, fait essentiel, et non sur celle des vertèbres, détail accessoire. Alors, l'*amphioxus* qui, sans avoir de vertèbres, se rapproche des vertébrés par cet indice médullaire, pourra rentrer dans le groupe et en faire pressentir la forme ancestrale. La classification actuelle sépare par un hiatus profond les invertébrés et les vertébrés; la transition devient au contraire possible quand, abstraction faite des vertèbres, on compare la corde abdominale des premiers et la corde dorsale des seconds.

Une première bipartition ainsi effectuée, on devrait distinguer, parmi les animaux à type ganglionnaire, ceux qui n'ont que des ganglions indépendants ou faiblement connexes, et ceux chez lesquels les ganglions se lient en forme de chaîne. De là résultent en effet deux plans différents de structure, l'un sans axe longitudinal, l'autre avec axe longitudinal. Cette distinction correspond à celle des non-articulés et des articulés proprement dits. Les non-articulés se partageraient ensuite en deux groupes dont le premier présente seulement des ébauches de ganglions sous forme de filets nerveux avec de faibles renflements, comme ceux qu'on observe chez les rayonnés, et dont l'autre possède des ganglions bien déterminés, comme le sont en général ceux des mollusques. — De même, parmi les articulés, il faudrait séparer les vers, dont le système nerveux est relativement simple, et les arthropodes, chez lesquels il se complique et arrive à constituer un ganglion cérébroïde.

Des considérations de même ordre motiveraient le par-

1. Ehrenberg a proposé un mode de classement analogue : il distingue les animaux en « ganglioneurés » (réduits à des ganglions) et « myélonéurés » (pourvus de moelle épinière et de muscles) (voy. Agassiz, *De la classification*, p. 328).

tage du groupe des vertébrés. Comme la moelle épinière est son indice essentiel, on devrait distinguer d'abord les êtres qui en sont pourvus, mais sont privés de cerveau (« acraniens » d'Haeckel, comprenant l'*amphioxus* et ses analogues ignorés) et ceux qui ont un cordon spinal et un cerveau (« crâniotes », *id.*). Le développement relatif de l'encéphale et de ses parties servirait ensuite à répartir le second groupe. On sait que le rapport du cerveau et de la moelle épinière qui est en moyenne de 2 à 1 pour les poissons et de 2, 5 à 1 pour les reptiles, s'élève de 3 à 1 pour les oiseaux, de 4 à 1 pour les mammifères et de 23 à 1 pour l'homme (Miller). Des caractères plus significatifs encore seraient fournis par le mode d'organisation du cerveau. Ainsi le lobe olfactif des poissons, qui préside aux sensations d'ordre trophique, a, par son volume, une importance égale ou même supérieure à celle de tout le reste de l'encéphale. Le cerveau moyen domine chez les reptiles et les oiseaux; le cerveau antérieur, chez les mammifères. La complication graduelle de ce centre d'innervation, le fait que les lobes optiques sont découverts ou enveloppés, que les hémisphères ont leur surface lisse ou creusée de circonvolutions plus ou moins nombreuses et profondes, enfin la comparaison des parties du cerveau, leur valeur comme indice de facultés psychiques, constitueront sans nul doute, quand on les connaîtra mieux, une foule de traits distinctifs pour fixer le rang des êtres dans la série.

Comme exemple des singularités où conduit le choix arbitraire des motifs de différenciation, il suffit de citer le classement de l'espèce humaine et de ses races. Linné, prenant pour un caractère de la plus haute importance la position pectorale des mamelles, a considéré l'homme et la chauve-souris comme des espèces voisines. La caractéristique de l'homme parmi les animaux devrait être cherchée dans la supériorité de son système actif. Elle consiste en cela que, seul parmi les mammifères, il a la

station droite (ce qui implique un ensemble de différences ostéologiques, musculaires et viscérales), et que son cerveau présente un incomparable développement (d'où résultent l'ouverture de l'angle facial et des aptitudes transcendantes dont la plus significative est la faculté du langage). Le cerveau de l'homme est en moyenne trois fois plus volumineux que celui des anthropoïdes et le poids de son système nerveux, comparé à celui du corps, est dix fois plus considérable que chez le cheval. Voilà le vrai titre de notre prééminence.

En ce qui concerne les races humaines, la taxinomie anthropologique les répartit, d'une manière qu'on serait tenté de juger bien superficielle, en consultant soit la coloration de la peau, comme Blumenbach¹, soit la forme des cheveux² comme Bory Saint-Vincent, Haeckel et la plupart des anthropologistes contemporains. N'est-il pas manifeste que de tels indices seraient insignifiants s'ils étaient seuls? Et, s'il y en a d'autres plus importants, ce sont eux qu'il faudrait montrer. L'espèce humaine ayant pour trait distinctif un développement exceptionnel du cerveau et le privilège de la raison qui en est la conséquence, les races devraient être différenciées par les modifications de la structure cérébrale entraînant des aptitudes consécutives dont témoigne l'état moyen de civilisation. L'anatomiste suédois Retzius a engagé l'anthropologie dans cette voie par sa distinction des « dolichocéphales » et des « brachycéphales ». Gratiolet avait proposé de distinguer des races « frontales » et des races « occipitales » suivant la région du cerveau qui se développe le plus et cette

1. Blumenbach, oubliant le prudent adage de Linné : « Ne vous fiez pas trop à la couleur », a partagé l'espèce humaine en : 1° noirs, 2° bruns, 3° jaunes, 4° rouges, et 5° blancs (*De generis humani varietate nativa*, 1775-1794).

2. Haeckel distingue : 1° les « ulotriques », à cheveux aplatis et laineux (en touffes, « lophocomes » ; ou en toison, « ériocomes ») ; et 2° les « lissotriques », à cheveux ronds et plats (droits, « euthycomes » ; ou bouclés, « euplocames ») (*Histoire de la création*, p. 597, 621).

distinction aurait pu coïncider avec celle des degrés d'intelligence ; mais ces termes manquent de précision scientifique. Une étude approfondie du cerveau fera sûrement reconnaître entre les groupes humains des diversités d'organisation propres à servir de mesure aux facultés psychiques et de marque aux races ou même aux groupes ethniques.

En somme, il nous paraît nécessaire de reconstruire la taxinomie animale en lui donnant pour base la névrologie comparée. Outre l'avantage de mettre en lumière les analogies et les différences fondamentales des formes, les divisions ainsi établies auraient celui d'offrir un cadre tout tracé pour le classement des fonctions psychiques, tandis que la classification actuelle ne lui est d'aucun secours. Dans ce système, les caractères de la vie végétative, au lieu d'être prépondérants, seraient subordonnés et l'on n'y aurait recours qu'en cas d'insuffisance des autres. Peut-être vaudrait-il mieux encore ne rien exclure, concilier les deux modes de répartition, et, puisque les animaux ont deux catégories d'organes, tenir compte de chacun d'eux dans la mesure de son importance et dans l'ordre de son développement. Une coordination rationnelle de tous les éléments dont l'organisme se compose pourra seule réaliser l'idéal de la zoologie.

Enfin, dans les deux sous-règnes végétal et animal, la classification ne devrait pas se borner à mettre en ordre les formes vivantes, ensemble insuffisant où des lacunes sans nombre rompent la liaison des groupes et empêchent de concevoir l'unité du tout ; elle serait tenue de faire entrer dans son cadre la suite bien autrement considérable des formes disparues. Au rebours des types cristallins qui sont immuables, parce qu'ils se produisent spontanément sous la dépendance exclusive de conditions physico-chimiques dont rien ne trouble la constante régularité, les organismes, qui procèdent les uns des autres,

changent, évoluent et se transforment avec le temps, sous la double influence des milieux et de l'hérédité. Pour embrasser le cycle intégral de la création organique, il faut donc considérer les espèces vivantes comme des termes de séries, les rattacher aux espèces antérieures dont elles proviennent et reconstituer le passé sans lequel le présent resterait inexplicable. Les types des formes actuelles, séparés par des différences tranchées, sont plutôt contemporains que connexes et se lient par des intermédiaires qui n'existent plus. C'est la paléontologie, complément nécessaire de la néontologie, qui comble les intervalles vides et montre la suite des dérivations accomplies dans le cours des âges. Une classification rationnelle doit donc admettre, outre les types vivants, les types qui ont vécu. L'ambition de la Morphologie générale serait de distribuer la totalité des formes, sans limitation de temps ni de lieu, dans un tableau synthétique où l'on verrait l'évolution plastique se développer d'une façon continue.

Ce grand travail effectué, la multitude des organismes se trouverait disposée, non en série linéaire ou échelle des êtres comme on le croyait autrefois¹, et comme l'admet encore A. Comte, mais sous forme d'un arbre à ramifications successives dont les racines plongent à des profondeurs ignorées et dont nos espèces actuelles occupent l'extrémité des branches. Leurs groupes sont indépendants les uns des autres à partir du point où la bifurcation s'opère. Ainsi, les mollusques, les échinodermes, les arthropodes et les vertébrés, semblent également provenir des vers, mais être collatéraux entre eux. Il en serait de même dans l'embranchement des vertébrés, dont les reptiles et les oiseaux d'une part, les mammifères de

1. Aristote avait déjà l'idée d'un enchaînement des formes animales : « La nature, dit-il, passe d'un genre et d'une espèce à l'autre par des graduations imperceptibles et, depuis l'homme jusqu'aux êtres les plus insensibles, toutes ses productions paraissent se tenir par une liaison continue. » (*Histoire des animaux*, liv. VIII, ch. 1.)

l'autre, représenteraient, à partir des batraciens, deux rameaux divergents. Des séparations de ce genre se reproduisent à chaque subdivision. Il en résulte de notables inégalités partielles entre les séries selon le point de développement où les espèces sont parvenues. Par exemple, les plus élevés des mollusques (céphalopodes) et des insectes (hyménoptères) sont supérieurs aux poissons les plus imparfaits. La prééminence n'est exacte qu'autant que l'on compare les groupes en leur entier.

CONCLUSION

Il resterait, pour conclure, à formuler les lois qui régissent l'universalité des phénomènes plastiques, c'est-à-dire les modes d'action de la force sous l'influence de laquelle se produisent toutes les formes connues.

Une même cause détermine dans des conditions diverses et doit expliquer l'ordre intégral des faits de structure. Mais cette loi très complexe nous échappe dans ce qu'elle a de général. A peine est-on parvenu à dégager quelques-unes des lois particulières relatives aux connexions ou aux variations des organes. La loi « de l'utilité des parties » ou « de la hiérarchie et de la centralisation des fonctions », due à Cuvier, établit que chaque organe se coordonne avec les autres en concourant à une commune fin, de sorte qu'un organe étant donné, on peut induire la conformation d'une série d'autres organes en corrélation avec lui. La loi « de balancement ou de compensation », signalée par Goethe et G. Saint-Hilaire, exprime l'interdépendance des parties de l'organisme au point de vue de leur développement simultané, l'une d'elles ne pouvant croître avec excès qu'au détriment de quelque autre, car le budget de la vie est fixe et toute dépense sur un point exige ailleurs une réduction de crédit. En vertu de la loi « de spécialisation et de multiplication des parties »,

mise en lumière par M. Milne-Edwards, le travail se divise entre les organes, les parties dissemblables se multiplient et les organismes se compliquent, l'avantage restant à celui qui a le plus d'organes distincts. Par la loi « de la réduction numérique des parties semblables », la nature tend à faire la meilleure économie de ses forces et obtient à moins de frais les résultats les plus avantageux. Ainsi, le nombre des pattes diminue parmi les insectes, celui des vertèbres chez les vertébrés ; les yeux réticulés des arthropodes sont remplacés par deux yeux mieux conformés. « La nature, dit Leibniz, est comme un bon ménager qui épargne là où il faut pour être magnifique en temps et lieu. Elle est magnifique dans les effets et ménagère dans les causes qu'elle emploie. » (*Nouveaux essais sur l'entendement humain*, liv. III, ch. vi, § 32.)

Au-dessus de ces lois spéciales, il y aurait à instituer des lois de série par lesquelles s'expliquerait l'unité grandiose que réalisent séparément le règne inorganique, le règne végétal, des protophytes aux plantes les plus parfaites, et le règne animal, des protozoaires à l'homme. Enfin, une loi suprême, résumé de toutes les autres, régirait l'ensemble de la création plastique et montrerait comment la constance des traits généraux se concilie avec la variabilité des caractères spéciaux. Elle correspondrait pour les formes à ce qu'est la gravitation pour les masses. Si jamais l'esprit humain réussit à lui assigner une formule mathématique, la Morphologie disposera d'un pouvoir pareil à celui de la Dynamique pour rendre compte de la diversité de ses phénomènes par l'action graduellement modifiée d'une même cause. Devenue alors science de raisonnement, elle pourra suivre dans leur enchaînement sans terme les conséquences d'un principe établi, reconstituer le passé perdu et prévoir ou diriger le cours de l'évolution future¹. Le monde entier des formes, soumis à

1. « En modifiant les milieux nutritifs et évolutifs, et en prenant la matière organisée en quelque sorte à l'état naissant, on peut espérer d'en

une loi simple, se développerait pour la pensée dans un ordre égal à ce que Pline appelle « la majesté de la nature ».

changer la direction évolutive et par conséquent l'expression finale. Je pense donc que nous pourrions produire scientifiquement de nouvelles espèces organisées, de même que nous créons de nouvelles espèces minérales, c'est-à-dire que nous ferons apparaître des formes organisées qui existent virtuellement dans les lois organogéniques, mais que la nature n'a point encore réalisées. » (Cl. Bernard, *Physiologie générale*, p. 161.)

CHAPITRE III

MÉTHODE DE LA MORPHOLOGIE DE LA COMPARAISON

Un procédé spécial de recherche devait être mis en œuvre par la science des formes, car les méthodes antérieures n'auraient pas pu suffire à ses investigations.

L'intuition en effet ne lui livrait que des données très sommaires. Si d'abord la perception révèle l'aspect sensible des formes et si ensuite la conception les classe en raison de leurs ressemblances et de leurs différences manifestes, ces notions, naturellement bornées, ne constituent pas une science. On sait combien l'apparence, indice trompeur, fait admettre à première vue d'analogies illusoire ou de distinctions erronées. On en trouve la preuve dans les noms assignés par le langage à certaines espèces (« chat-huant », « crapaud-volant », « chauve-souris », « loup-cervier », « cerf-cochon », etc.). Quoique nécessaire pour constater la réalité des choses, la méthode intuitive ne se prêtait pas à une exploration suivie de leur structure.

En ce qui concerne la déduction, son rôle, non moins indispensable, est également subordonné. Les formes, il est vrai, se déterminent dans leur ensemble, et jusque dans leurs moindres parties par des mesures de grandeurs, par des évaluations de quantités et des dimensions

de figures ; mais là se borne le concours de la Mathématique, et sa méthode, inapplicable directement, ne peut pas faire dériver d'axiomes, par la voie du raisonnement abstrait, l'ordre des phénomènes plastiques. Son utilité est donc ici des plus restreintes et la contribution que les calculateurs, géomètres ou algébristes ont jusqu'à présent pu fournir à l'histoire naturelle se réduit à bien peu de chose, presque à rien.

L'observation intervient aussi dans l'étude des faits de conformation puisque chacun d'eux se ramène à une collocation de matériaux plastiques. Dès que l'attention fut éveillée, on examina curieusement la construction des choses afin de discerner en quoi elles se ressemblent et en quoi elles diffèrent. Des remarques de ce genre sont faites par les enfants dès le premier âge et constituent la meilleure part de la science des peuples sauvages. Toutefois l'observation, moins active que passive, est bien vite arrêtée dans cette recherche, parce qu'elle se contente d'inspecter les êtres par le dehors, tandis que la connaissance du dedans importe le plus.

Avec l'expérimentation il est possible de pénétrer plus avant et de scruter l'intérieur. Elle déconstruit méthodiquement les formes, les divise en parties, subdivise ces parties en parcelles et continue le fractionnement jusqu'au point où les éléments se déroberont par leur infinité à l'observation. Les procédés de « clivage » (de l'allemand *klieben*, fendre) et de « dissection » (de *dis secare*, couper en deux) servent à explorer le détail de la structure, soit cristalline soit organique. Des artifices d'« anatomie » (de ἀνά τέμνειν, couper en morceaux) étaient surtout obligatoires pour défaire les corps vivants, séparer les appareils dans les organismes, les organes dans les appareils, les tissus dans les organes, les cellules dans les tissus... et prolonger cette analyse aussi loin que le permet l'emploi du scalpel et du microscope. Sans pratiques de ce genre, véritables expériences tentées sur les formes en vue de les démolir

avec ordre, on n'arriverait à rien et la science ne pourrait saisir que des indices superficiels.

Enfin, quoique la relation qui unit les formes et les substances impose à la Morphologie un fréquent recours aux données et aux formules de la Chimie, la science des formes ne réussirait point à se constituer avec cet unique moyen d'étude, car si l'étude de la composition fait connaître la matière de la forme, elle laisse ignorer la forme elle-même et ni l'analyse, ni la synthèse ne nous apprennent pourquoi une même substance est susceptible de prendre les modes de structure les plus divers.

Outre les méthodes antérieures, nécessaires, mais insuffisantes, la Morphologie devait donc employer une méthode particulière, adaptée aux difficultés de son objet. Cette méthode, plus complexe que les précédentes, puisqu'elle les applique toutes ensemble et ajoute à leur efficacité par un procédé nouveau, s'appelle la « comparaison ».

Comparer, c'est confronter les choses, démêler avec soin leurs caractères, grouper ceux qui se ressemblent, opposer ceux qui diffèrent, apprécier leur valeur relative, enfin établir la balance des uns et des autres. On ne peut procéder de la sorte qu'à l'égard de choses qui présentent à la fois des similitudes et des dissemblances par séries, car, semblables de tous points, il n'y aurait pas lieu de les distinguer et, différentes de tous points, il ne serait pas possible de les unir. La comparaison est une estimation simultanée des ressemblances et des différences, donnée d'autant plus instructive que les indices sont plus nombreux et mieux accusés. En outre, pour comparer fructueusement les choses, il faut que leurs caractères soient discontinus et constants. Si, en effet, ces caractères variaient d'une manière insensible ou incessante, on ne pourrait pas les saisir ou les fixer. L'application de ce procédé implique dans les analogies et les dispa-

rités des degrés déterminés et stables qui servent de points de repère à la spéculation.

Cela posé, il est facile de voir pourquoi la comparaison n'a pu jouer dans les sciences qui précèdent qu'un rôle très limité, tandis que la Morphologie a dû la développer, l'ériger en méthode distincte et en faire son instrument spécial d'investigation. Pour la science première, toutes les réalités existent au même titre et leur évidence est tenue d'être intuitive. Il n'y a donc pas à les comparer, il suffit de les constater. En Mathématique, la comparaison des grandeurs se réduit à déterminer le rapport invariable qui les unit. La Dynamique et la Physique font un usage très restreint du procédé comparatif parce que la première n'a qu'une série, la seconde six séries de phénomènes qui changent régulièrement par degrés, de sorte que la comparaison ne pouvait porter que sur les degrés ou sur les séries. Enfin, la Chimie, où chaque mutation de substance entraîne une transformation soudaine et complète de propriétés, ne trouvait guère à noter que des différences. Conséquemment, quoiqu'il y ait à comparer dans tous les ordres de faits, quoiqu'il soit par-toutnécessaire de rapprocher les attributs communs des choses et de séparer leurs attributs différents, les sciences dont nous venons de parler se contentent de considérations générales et ne sont pas tenues d'étendre à l'ensemble de leurs données l'artifice de distinctions et d'assimilations méthodiques. Cependant, à mesure que le nombre des caractères augmente, il devient plus urgent et plus facile de les classer. Par suite, l'importance de la comparaison s'accroît en proportion de la complexité des phénomènes et sa fonction se développe dans la suite des sciences.

Seule la Morphologie devait faire de cette méthode une application systématique. Aucun autre moyen d'étude ne lui permettrait de scruter à fond les choses, de les décrire et de les classer. En effet, les formes, à la fois analogues et

diverses, se différencient par degrés. Elles ont toujours quelques traits de similitude, soit le mode ou le plan de structure, soit les matériaux de structure ou le fait même d'une conformation définie. Leurs rapports plastiques peuvent aller d'une ressemblance presque complète, comme on le voit entre représentants du même groupe dans l'espèce, à une ressemblance très faible, réduite même à un seul point comme il arrive entre les êtres qui appartiennent à des règnes différents. Par contre, les formes ont aussi leurs dissemblances qui servent à les distinguer. Elles peuvent différer par un trait, ou par plusieurs, ou par presque tous. On a ainsi une double échelle de caractères comprenant le détail entier des formes et aux degrés de laquelle correspondent les cadres de la classification. Tout est matière à comparaison dans l'étude morphologique des corps. Il faut d'abord comparer les unes aux autres, à différents degrés de spéculation, les parties diverses dont chaque forme se compose; ensuite, comparer cette forme à elle-même aux états successifs de son évolution; la comparer en outre aux formes voisines qui appartiennent au même groupe (sexes, races...); enfin comparer son espèce à toutes les autres, afin de marquer sa place et son rang dans la hiérarchie. L'obligation d'embrasser un pareil ensemble de faits impose à la science des confrontations sans nombre, c'est-à-dire un plan de recherche largement conçu et minutieusement exécuté.

La méthode comparative était difficile à instituer et à mettre en œuvre. Elle utilise les ressources des méthodes antérieures et les combine en vue d'une fin qui lui est propre. Comme on doit considérer dans les formes la réalité sensible, la grandeur mesurable, l'ordre de collocation des parties, l'état physique des corps et la composition des substances, elle emploie simultanément ou tour à tour l'intuition, la déduction, l'observation, l'expérimentation.

tation et l'intégration, car, pour elle, tous les caractères ont de l'importance et aucun moyen de connaissance n'est à négliger. Mais elle ne cherche pas ces renseignements pour eux-mêmes; elle les met à profit en vue d'un résultat qui les dépasse. Son but est de scruter l'ensemble des phénomènes plastiques, tâche non moins vaste qu'ardue. L'examen doit porter sur le détail de chaque forme et sur la totalité des formes. Étant données la complexité de certains types et la multitude des espèces, le problème que la Morphologie soulève et que la comparaison doit résoudre est assurément des plus malaisés.

En raison de ces difficultés, la méthode comparative n'a réussi à se constituer que très tard. Sans doute, on a comparé de tout temps, mais avec peu de suite et de réflexion. L'époque où l'on a su le faire d'une manière rationnelle et efficace est récente, presque contemporaine. Ni l'antiquité, ni le moyen âge n'étaient parvenus à tirer de ce moyen de recherche une méthode et de ses applications une science. Quoique les naturalistes eussent partout sous les yeux des formes assez variées pour pouvoir faire des comparaisons étendues, l'habitude les empêchait de s'étonner des différences des choses et la curiosité faisait défaut pour chercher à s'en rendre compte. Mais, à partir des grandes découvertes géographiques de la renaissance, les voyageurs, brusquement transportés dans des régions dont la flore et la faune présentaient un aspect nouveau, y signalèrent l'existence d'une foule de types dont l'étrangeté frappa et qu'on essaya de décrire afin d'en donner une idée. Des collections se formèrent et le classement de leurs richesses s'imposa. Bientôt la science, ouvrant une vaste enquête, voulut passer en revue la création plastique dans tout le monde connu. La comparaison dut alors perfectionner ses procédés, analyser la structure des corps, reconnaître les traits distinctifs des groupes, subordonner les caractères et ramener par leur coordination hiérarchique la diversité des formes à l'unité de série. Une

méthode s'établit avec des règles précises et son manie-
ment devint de plus en plus facile et sûr.

Dans les développements successifs qu'a pris la méthode comparative, il y aurait lieu de distinguer des phases qui correspondent à nos divisions de la science.

L'étude des éléments de structure était relativement aisée et n'exigeait qu'un mode très simple de comparaison, car ces formes initiales, aussi stables que peu complexes, pouvaient être partout constatées et l'observation en livrait directement la connaissance. Ici, le principal obstacle, tardivement surmonté, consistait à rendre visibles les matériaux premiers des formes que leur petitesse dérobaient à la prise de nos sens. Des artifices optiques étaient donc indispensables et la Morphologie élémentaire se fonde sur l'emploi du microscope dont l'invention remonte au xvi^e siècle (Zacharias Jansen, 1590) mais qui n'a reçu que de nos jours ses principaux perfectionnements. La micrographie s'est appliquée d'abord à l'étude des éléments organiques, plus faciles à discerner. Elle n'a pas encore pu saisir dans leur petitesse ultramicroscopique les particules intégrantes des cristaux dont les moindres se confondent peut-être avec les molécules physiques. Cependant, la cristallologie a, depuis peu, renouvelé ses données par l'observation des minéraux amincis en lames de 1 à 2/100^{es} de millimètre d'épaisseur qu'on observe par transparence au microscope, à la lumière soit directe, soit polarisée. Cette méthode, proposée par Nicol dès 1826, puis appliquée par Sorby en 1858 et systématisée par Zirkel à partir de 1867, a révolutionné la minéralogie en faisant connaître la structure intime des cristaux et les conditions de leur genèse. — L'examen des éléments anatomiques les plus complexes était difficile à cause de leur altération rapide, et n'a pu être abordé que grâce à des progrès récents. Ainsi, la structure de la substance nerveuse dont l'homogénéité apparente a fait si longtemps illusion, n'est

explorée méthodiquement que depuis la découverte des propriétés durcissantes de l'acide chromique (signalées par Hanover en 1840). Il est alors devenu possible de figer le tissu nerveux en assurant à la fois sa conservation et sa consistance, de le découper en tranches minces dans tous les sens¹ et d'étudier à loisir ses éléments par transparence, dans leurs rapports naturels, à l'aide d'instruments d'une puissance d'amplification jugée longtemps inaccessible. Enfin, les détails de structure révélés par le microscope sont ensuite agrandis et reproduits par des procédés photographiques avec une exactitude qui exclut les chances d'erreur inséparables d'interprétations personnelles dans les représentations dessinées. Ces ingénieux artifices livrent à la science l'entrée d'un monde qui lui semblait à jamais fermé et dont la conquête n'est plus qu'une question de temps.

On serait tenté de croire que la Morphologie spéciale, objet de travaux anciens, s'est constituée bien avant la Morphologie élémentaire, parce que les dimensions des organes permettaient d'en observer et d'en décrire la configuration sans recourir à d'autres artifices que des dissections raisonnées. Cependant, faute de notions exactes sur les tissus et sur les éléments des tissus, la science des formes composées manquait de base et se trouvait réduite à des aperçus sommaires. Son institution véritable date seulement de l'époque où, l'analyse des éléments de structure ayant été méthodiquement opérée, on put aborder l'étude des plans de structure et de leurs modes d'exécution. Là surgissent des problèmes dont on n'a encore résolu qu'une faible part. A peine commence-t-on à bien connaître les organismes supérieurs. Le monde des formes inférieures, d'une diversité si riche, reste obscur et confus. Cependant, cette partie de la faune ne l'emporte

1. On peut de même opérer dans un œuf d'insecte ou un cerveau d'abeille plus de cinquante sections après l'avoir préalablement enveloppé de paraffine.

pas seulement au point de vue du nombre et de la variété des formes; ses types plus simples peuvent le mieux donner l'explication des types complexes et c'est à elle qu'il faudra demander un jour le secret de la genèse plastique.

Une fois les faits de conformation constatés au double point de vue des éléments et des modes de structure, la comparaison, devenant synthétique, devra confronter ces données, les lier par séries et montrer les corrélations des formes soit dans les individus, soit dans les groupes. De nouveaux progrès de méthode permettront sans doute à l'Anatomie comparée, inaugurée par Cuvier, de généraliser ses recherches et de suivre aussi loin qu'ils se prolongent les enchaînements des rapports plastiques.

Enfin, la Morphologie générale réclame, pour établir ses classifications et ses lois, une méthode compréhensive, capable d'embrasser et de résumer dans un tableau synoptique ou mieux encore dans une formule abstraite, l'intégralité des faits de conformation. La Taxinomie élève le procédé comparatif à sa plus haute puissance et à sa plus grande généralité. Nous avons vu comment Laurent de Jussieu et Cuvier avaient dégagé la théorie de la classification naturelle des essais antérieurs de classification artificielle. Toutefois l'œuvre est loin d'être achevée. Analyser, décrire, comparer et classer la multitude des formes actuelles et celle plus grande encore des créations disparues, est une tâche qui, avant d'approcher de son terme, occupera bien des générations de chercheurs.

LIVRE VII

PRAXÉOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION DE LA PRAXÉOLOGIE

Pour terminer l'exposé des sciences générales, il nous reste à parler des fonctions. Comme cette catégorie de faits n'a pas encore été coordonnée dans son ensemble, nous devons d'abord chercher à la définir avec soin.

Nous appelons « fonction » (*functio* de *fungor*, je m'acquies) une série d'effets qui s'accomplissent dans une forme sous l'influence d'actions de milieu. Ce phénomène consiste en changements provoqués dans les corps, à raison de leur structure spéciale, par une cause appropriée d'excitation. Sa production implique conséquemment deux termes: une force qui agit sur une forme pour la stimuler, et une forme qui réagit contre cette force pour la modifier. La fonction résulte d'actions subies et de réactions exercées, en tant qu'elles se lient à une donnée plastique dont la permanence procure aux faits leur ordre et leur unité. Expression d'un rapport entre les formes et leur milieu, elle adapte la condition des unes à celles de

l'autre et fait dépendre chaque être de son habitat. Par là, elle rattache les parties au tout, subordonne chaque détail à l'ensemble et achève la connaissance. Examinons maintenant les choses sous cet aspect. Après avoir étudié les formes en elles-mêmes, plaçons-les dans leur milieu naturel et voyons comment elles se comportent sous l'empire des forces qui, partout à l'œuvre autour d'elles, les influencent incessamment.

Les formes n'ont pas d'existence absolue. Se produisant au sein d'un système matériel et dominées par ses lois, elles lui empruntent la substance qui les compose, les forces qui les animent. Ce sont des corps pesants auxquels la gravitation impose des conditions d'équilibre ou de mouvement; des agrégats de molécules qu'ébranlent les actions physiques; des composés que l'affinité modifie suivant la nature de leurs éléments; enfin des tout-clos conformes à certains types. Mais grâce à leur individualité plastique, les êtres ont une valeur particulière, un pouvoir propre d'action. En vertu de leur structure, ils ressentent d'une façon spéciale les influences du milieu, réagissent contre elles et les accommodent en partie aux nécessités de leur existence. Tout corps dont la forme est arrêtée et stable se trouve ainsi doué d'aptitudes fonctionnelles. Il porte en lui un principe d'activité par cela seul que les forces incidentes ne peuvent le traverser sans être contraintes à se développer dans des directions données, parfois même à se transformer et à se résoudre en effets nouveaux. Chaque forme offre aux différentes causes d'action des facilités ou des obstacles; elle les met en accord ou en conflit et suscite des résultantes qui, coordonnées par séries, représentent des fonctions.

Il y aurait à distinguer plusieurs sortes de fonctions. Les unes, dont l'ordre est très général, déterminent dans tous les corps des phénomènes d'accroissement; d'autres, plus spéciales, renouvellent les organismes; d'autres enfin se manifestent, chez les êtres animés, par des effets

psychiques. Leur cause réside dans les propriétés des éléments de structure. On en compte cinq essentielles : l'évolutivité ou propriété de croître, commune aux corps bruts et aux corps vivants ; la nutritivité et la reproductivité propres aux derniers ; la névritivité et la contractivité dont les animaux ont le privilège. A ces propriétés que mettent en jeu les influences du milieu, se rattachent des fonctions susceptibles de variations infinies.

Tel est le vaste sujet que nous devons étudier. Linné avait tenté d'en mesurer l'étendue lorsque dans son « *Systema naturæ* » il formulait en ces termes les caractères des trois règnes : « *Mineralia sunt, vegetalia sunt et crescunt, animalia sunt et crescunt et sentiunt.* » Blainville ajoutait : « *Homo intelligit.* » On avait ainsi quatre classes de fonctions : l'existence, l'accroissement, la sensibilité, l'intelligence. Mais ce n'est là qu'un à peu près insuffisant. L'existence pure (*esse*) n'est pas le trait distinctif des minéraux et caractériserait plutôt les substances amorphes. La croissance, donnée pour attribut aux végétaux, appartient aussi aux corps bruts. Les plantes ont en outre le renouvellement. Enfin, l'homme partage avec les animaux supérieurs la faculté d'intelligence et ne les dépasse que par la raison.

Prises dans leur ensemble, ces fonctions, si dissemblables d'aspect, composent une catégorie de phénomènes d'une réelle unité. Toutes ont pour cause des actions de milieu modifiées dans les formes et s'y réfractant en séries d'effets. La science n'a pas encore systématisé leur ordre et manque même de terme pour désigner la force générale qui les produit. On a bien imaginé des puissances particulières pour expliquer certaines fonctions, comme la vie ou force vitale et l'âme ou force psychique ; mais ces agents fictifs, investis de fonctions partielles, soulèvent des objections non moins graves que les agents discrédités de l'ancienne Physique. Il serait conforme aux méthodes de la science d'attribuer la totalité des fonctions à une force unique, de même ordre que la gravitation, l'action physique

et l'affinité. Nous l'appellerons de son nom le plus général, la force d'« activité ».

Les faits de fonction se distinguent aisément de tous les autres et l'on doit éviter de les confondre, comme il arrive quelquefois, avec ceux de modalité ou de composition. La fonction se caractérise par l'ordre de ses développements dû à l'unité de direction que la structure impose aux forces intercurrentes. Dans l'acte fonctionnel le plus simple, tel que l'accroissement d'un cristal, agit une cause différente de la pesanteur, de la force moléculaire et de l'affinité, car leurs effets connus ne peuvent pas expliquer, sans un lien qui les rattache, la construction régulière de ce corps d'après un plan idéal. Cette œuvre suppose un pouvoir recteur capable de ranger des matériaux conformément à un type déterminé. Son rôle est plus visible encore dans les fonctions des êtres vivants. Les physiologistes qui prétendent restreindre la vie à des résultats physico-chimiques méconnaissent sa vraie nature. Sans doute la vie ne tire point d'elle-même les forces qu'elle met en œuvre ; elle les emprunte au monde extérieur ; mais elle diffère des agents physico-chimiques en ce qu'elle dirige leurs effets sans les produire, tandis qu'ils les produisent sans les diriger (Cl. Bernard). L'ordre fonctionnel résulte alors d'une composition de forces, de la concordance imposée à des faits dont les conditions sont indépendantes. Or, c'est là un phénomène nouveau. Il faut admettre, pour en rendre compte, un agent spécial qui discipline des causes aveugles, règle leur action et les conduit à son but. « S'il fallait définir la vie, je dirais : la vie, c'est la création... Ce qui caractérise la machine vivante, ce n'est pas la nature de ses propriétés physico-chimiques, c'est la création de cette machine d'après une idée définie... Ce groupement des éléments se fait par suite des lois qui régissent les propriétés physico-chimiques de la matière ; mais ce qui est essentiellement du do-

maine de la vie, ce qui n'appartient ni à la Physique ni à la Chimie, c'est l'idée directrice de cette évolution vitale » (Cl. Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, p. 162). « Ce qui distingue essentiellement le corps vivant du corps brut, dit de même M. Chevreul, ce n'est point la nature des forces aux quelles nous rapportons immédiatement les phénomènes de la vie, mais bien la cause première du balancement de ces forces et de leur coordination pour maintenir la vie dans un assemblage de molécules assujetties à une forme déterminée, susceptibles d'accroissement régulier aux dépens du milieu extérieur et capables de se continuer dans l'espace et dans le temps » (*De l'étude de la nature des forces des corps vivants; Journal des savants*, 1860, p. 697).

On sait combien il est difficile de donner de la vie une définition précise quoique, en fait, l'intuition discerne presque toujours avec évidence les corps vivants et ceux qui ne le sont pas. Les formules sont innombrables, aucune n'est satisfaisante. Pour Richerand, « la vie est une collection de phénomènes qui se succèdent dans un temps limité dans un corps organisé ». Cela comprendrait aussi les phénomènes de la décomposition cadavérique. Selon de Blainville, la vie est « un mouvement continu et simultané de composition et de décomposition ». C'est la réduire à une action chimique et ne pas la distinguer des doubles décompositions. A ce titre, une pile qui fonctionne, une bougie qui brûle, vivraient. Schelling définit la vie « la tendance à l'individuation ». Mais un cristal réalise également une individualité plastique. D'après Tyndall, « la vie est scientifiquement définie un effort incessant pour rétablir l'équilibre troublé » (*la Lumière*, p. 246). C'est ne voir en elle qu'un pur mécanisme. On pourrait en conséquence tenir l'océan et l'atmosphère pour des êtres vivants. H. Spencer donne de la vie une définition si abstraite qu'elle ne spécifie plus rien et s'applique à tout : la vie, dit-il, est « l'ajustement continu

des rapports internes et des rapports externes » (*Principes de Psychologie*, t. I, p. 297). Les volcans, les astres, des phénomènes quelconques, toujours subordonnés à des influences diverses et en relation avec le dehors, rentreraient dans cette formule. — Une définition rationnelle de la vie ne devrait la représenter ni comme une somme de mouvements, ni comme une résultante d'actions physiques, ni comme une suite de combinaisons, mais comme l'ordre d'une série de ces phénomènes soumis à une direction constante et ramenés à l'unité dans un système organique. L'influence régulatrice de la forme fait converger vers un même but les effets divergents des autres forces et produit dans l'univers des concomitances qui, sans cette cause, resteraient inexplicables.

Néanmoins, les faits de fonction diffèrent de ceux de structure, malgré le lien étroit qui les unit. Les sciences naturelles étudient ensemble ces deux classes de phénomènes et A. Comte les déclare inséparables. Supprimant toute distinction entre l'Anatomie et la Physiologie (*Cours de philos. posit.*, t. III, p. 213), il les confond dans une science unique, la biologie. On ne pourrait pas, il est vrai, traiter des fonctions sans les formes, car une fonction sans organe serait une idéalité pure; mais il est possible, la Morphologie le prouve, d'étudier les formes, abstraction faite des fonctions. Sans méconnaître leur connexité, on a donc le droit de les séparer si l'on trouve avantage à le faire, et cet avantage résulte de la spécialité des phénomènes comme de la nécessité d'appliquer à leur étude des moyens différents d'investigation.

La Morphologie n'étend pas ses recherches au delà des faits de structure, considérés intrinsèquement. Sa tâche se réduit à décrire et à comparer les formes sans tenir compte de leur milieu ni de l'influence réciproque qui fait agir le milieu sur les formes et réagir les formes contre le milieu. Souvent même il faut transporter les êtres hors de leur milieu naturel pour explorer leur structure et tel est

le cas de ceux qui vivent dans l'eau. Tout au contraire, la science des fonctions, supposant les formes connues, ne les sépare pas de leur milieu et scrute les effets qui sont la conséquence de leurs rapports. Ici, les causes sont extrinsèques et l'on doit considérer, outre les formes elles-mêmes, ce qui les entoure et les stimule. On ne peut plus isoler les corps en fonction des influences externes; il est nécessaire d'étudier leur activité dans son développement, sous l'empire des forces propres à la modifier. Ces faits ont leurs lois particulières puisque, sans que la conformation des choses change d'une manière appréciable, la fonction varie dès qu'une des conditions du milieu vient à différer.

Ayant ainsi à scruter des objets distincts, la science des formes et celle des fonctions doivent mettre en œuvre des méthodes spéciales. La première, obligée de défaire les corps pour en explorer le détail, s'applique à les déconstruire par des artifices d'analyse (clivage, dissection). La seconde, au rebours, étudie les choses quand elles évoluent ou quand elles agissent, c'est-à-dire dans leur mode de production ou en état d'intégrité. Aussi voit-on l'une interroger surtout les cadavres (herbiers, galeries zoologiques, préparations d'anatomie, représentations figurées), tandis que l'autre observe les êtres en cours de vitalité. Nous nous bornons en ce moment à signaler cette différence sur laquelle nous reviendrons en traitant de la méthode.

On pourrait donc connaître à fond la structure d'une forme et tout ignorer de ses fonctions, car l'anatomie se contente de décrire le mécanisme organique sans le mettre en jeu et ne l'examine pour ainsi dire qu'à l'état statique. La conformation d'un grand nombre d'organes a été bien connue avant qu'on sût rien de leur rôle physiologique. Naguère, on ne soupçonnait pas la fonction glycogénique du foie, alors que l'anatomie de cette glande laissait peu à désirer. On ne sait pas encore à quoi servent la

rate, le corps thyroïde, les capsules surrénales, les glandes lymphatiques, etc. Chez les animaux inférieurs, quantité d'organes, trop différents des nôtres, posent aux physiologistes d'embarassantes énigmes. Dans la faune supérieure, les lois de corrélation organique permettent bien de préjuger, d'après le mode de structure, si l'espèce est aquatique ou aérienne, phytophage ou carnivore, sédentaire ou voyageuse; mais aborde-t-on le détail des mœurs, des instincts ou des facultés, l'interprétation n'a plus de base, les hypothèses sont aventurées. L'anatomie d'un oiseau ne révèle point l'architecture de son nid ou la nature de son chant. L'examen des organes n'explique pas pourquoi le « ramier » perche sur les arbres, tandis qu'une espèce voisine, le « pigeon de roche » (notre pigeon domestique), évite de s'y poser; pourquoi le lapin se terre quand le lièvre gîte; pourquoi le bourdon construit des cellules rondes et l'abeille des cellules hexagonales; pourquoi telle fourmi est mineuse et telle autre bûcheronne..... Toutes les araignées filent; mais les unes disposent leur toile en rayons; d'autres la tissent sans régularité; d'autres en tapissent les parois des trous qu'elles habitent; quelques-unes s'en font une cloche pour vivre sous l'eau; d'autres enfin abandonnent aux vents leurs fils légers et se font transporter par eux. Jamais les naturalistes, si loin que leurs dissections puissent aller, ne trouveront au bout de leur scalpel la cause de ces différences. Il faut désespérer de surprendre dans la pulpe nerveuse une trace visible du sentiment ou de la pensée. La Phrénologie n'a point de sûrs indices pour faire distinguer un homme d'esprit de mine chétive d'un sot orné de belles protubérances, ou Newton occupant son imbécile vieillesse d'un commentaire sur l'Apocalypse, de Newton dans la force de l'âge et du génie, découvrant la loi de la gravitation universelle. En de telles matières, les apparences déçoivent; la vérité n'est pas accessible par cette voie.

L'obligation de disjoindre les formes et les fonctions

ressort avec évidence de la confusion où tombent les naturalistes lorsque, dans leurs classifications ambiguës, ils veulent tenir compte à la fois de ces deux ordres de faits. Toujours alors ils violent quelque convenance. Classent-ils l'homme par la considération de sa structure, ils le rangent avec Cuvier dans le voisinage des singes ou même avec Linné dans celui des chauves-souris et des paresseux, ce qui est outrageusement méconnaître la transcendance de ses facultés. Considèrent-ils, au contraire, la supériorité de sa raison, ils le colloquent dans un règne à part, comme ont fait Ehrenberg et I. G. Saint-Hilaire ; mais en le séparant par un tel abîme des animaux, ils oublient ses affinités morphologiques les plus manifestes. On éviterait ces difficultés en classant à part les formes et les fonctions. Alors, l'homme, être organisé, fera partie du règne animal. Il est un primate, incontestablement, et, quel qu'en soit son déplaisir, il se rapproche des singes¹. Mais l'homme, être pensant, se distingue par la raison de tout le monde animal et constitue à lui seul un règne dans l'ensemble des fonctions psychiques.

Si l'on admet la définition que nous avons donnée des phénomènes de fonction, il est manifeste que leur généralité doit être absolue. Inséparables des faits de structure et des actions de milieu, ils ont une extension indéfinie. Puisque tout a une forme, simple ou complexe, et puisque les milieux sont pour les forces un théâtre de continuelle activité, aucun corps ne peut échapper à la loi du fonctionnement. Partout les milieux exercent des influences variables sur les êtres contenus dans leur sein, et partout ces êtres réagissent, en vertu de leur structure, contre les influences du milieu. Suivant la nature de ces rapports, les fonctions diffèrent ; mais en toutes choses, à divers

1. « Simia quam similis, turpissima bestia, nobis! »
(Ennius, cité par Cicéron, *De natura Deorum*, I, 35.)

degrés de développement, **il y a des fonctions à étudier.**

L'homme les résume toutes dans son activité complexe. Il croît, se régénère, sent, pense et veut. L'animal, doué de facultés moindres, réunit encore à des fonctions physiologiques étendues des fonctions psychiques bornées. Plus abaissée encore, la plante est réduite à une vie organique. On ne distingue pas, d'ordinaire, d'autres fonctions que celles dont s'acquittent les êtres vivants; cependant la croissance des cristaux est une fonction véritable qui ne doit pas être retranchée de cette étude. Enfin, les substances amorphes elles-mêmes ont, dans leurs propriétés générales, des rudiments de fonction comme elles ont, dans leur structure moléculaire, des rudiments de forme. Ainsi expectante ou active, la puissance qui détermine les fonctions se retrouve dans tous les états de la matière et nul corps n'en est dépourvu. Leibniz tient l'existence et l'activité pour une seule et même chose : exister, dit-il, c'est être actif et ce qui n'agit pas n'existe pas (*id quod non agit non existit*).

Mais la généralité de cette catégorie de faits, visible pour les corps dont se compose le monde terrestre, s'étend-elle aux autres mondes, à tout l'univers? La science manque, pour l'affirmer, de preuves directes. Néanmoins, l'analogie autorise à cet égard des inductions voisines de la certitude. La connaissance que nous avons de l'extension illimitée des autres classes de phénomènes ne permet guère de supposer que, seule, celle des fonctions soit particulière à notre planète. Dans des conditions et sous des influences qui nous échappent, les astres sans nombre qui peuplent le ciel, soumis à la même loi de gravitation, modifiés par les mêmes actions physiques, composés d'un même fonds de substance, et sans doute façonnés par une plasticité commune, doivent être régis par un même principe d'activité. Sans que nous puissions dire quelles fonctions accomplissent des types ignorés dans des milieux inconnus, nous devons rationnellement croire que nulle part cette cause

n'est absente ou inactive, et, si notre science a des bornes, la réalité n'en a pas.

A raison de leur double caractère de spécialité et de généralité, les fonctions doivent constituer l'objet d'une science distincte. Quelques-unes de ses parties ont été étudiées de bonne heure, car ce genre de recherches, dont l'homme pouvait se faire le sujet principal, a présenté de tout temps le plus vif intérêt. La physiologie, l'hygiène, la médecine, la psychologie, l'histoire des animaux, l'histoire humaine, l'économie politique, la morale, etc., représentent des fragments de la science que nous voudrions établir; mais ces fragments, épars et sans coordination, sont restés à l'état de sciences particulières. Il faudrait les rapprocher et en faire un tout afin de mettre en lumière l'ordre de l'ensemble et son unité. On aurait alors une septième science, innommée jusqu'ici et que nous proposons d'appeler « Praxéologie » (de *πράξις*, action), ou, en se référant à l'influence des milieux, « Mésologie » (de *μέσος*, milieu).

A. Comte n'a su ni discerner la nature de la science des fonctions, ni mesurer son étendue. A la place qu'elle devrait occuper dans le système des connaissances générales, il met la « Sociologie », science particulière des phénomènes sociaux. Quelle que soit leur importance, les fonctions sociales ne représentent qu'une bien petite part du sujet dont l'étude incombe à la science, et cette part, séparée du reste, ne s'explique pas. A. Comte a été si loin de concevoir nettement l'unité de la Praxéologie, qu'il en a réparti les lambeaux entre plusieurs sciences différentes. Sans s'occuper des corps bruts, ailleurs que dans la Chimie, et sans tenir compte de leurs fonctions plus que de leur structure, il confond dans une science composite sous le nom de biologie, l'anatomie qui décrit les formes vivantes et la physiologie qui traite de leurs fonctions. Il réduit l'étude des phénomènes psychiques à ce qu'il appelle la

« physiologie intellectuelle » et, par une double méprise, il dénie toute valeur à la psychologie, la mettant presque de pair avec l'astrologie, tandis qu'il tient la phrénologie de Gall pour une science positive. Dans de telles conditions, on est fondé à dire qu'il ne s'est pas fait une juste idée de la science des fonctions.

CHAPITRE II

PROGRAMME DE LA PRAXÉOLOGIE

Les problèmes de fonction, dispersés dans une multitude de sciences indépendantes ou pour mieux dire étrangères, n'ont pas été jusqu'ici coordonnés d'une manière rationnelle et leur ensemble est un modèle de confusion. Appliquons une fois encore la règle posée au début de ce travail, nous partagerons la Praxéologie en deux sections principales, l'une analytique, dont l'objet sera l'exposition détaillée des phénomènes, l'autre synthétique, chargée de scruter leurs rapports en vue de les expliquer les uns par les autres et de formuler leurs lois. Commençons nos recherches par la première qui, plus simple, peut être abordée directement.

PRAXÉOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS

Praxéologie, science des fonctions.		Méthode de connexion.	
Praxéologie analytique, science des faits de fonction.	Praxéologie élémentaire ou Somatologie, science des fonctions directes.	Théorie des fonctions somatiques. 1. Fonctions de croissance. 2. Fonctions de rénovation. Ensemble du somatisme.	Connexion directe.
	Praxéologie générale ou Psychologie, science des fonctions indirectes.	Théorie des fonctions psychiques. 1. Fonctions irréflechies. 2. Fonctions réflechies. Ensemble du psychisme.	Connexion médiata.
Praxéologie synthétique, science des rapports des fonctions.	Praxéologie comparée, science des corrélations ou du consensus des fonctions.	Théorie du consensus des fonctions. 1. Consensus des fonctions somatiques. 2. Consensus des fonctions psychiques. Consensus individuel.	Connexion comparative.
	Praxéologie générale, science des lois des fonctions.	Théorie des lois de fonction. 1. Loi du somatisme, de l'évolution. 2. Loi du psychisme, du progrès. Consensus universel.	Connexion des séries de faits.

PRAXEOLOGIE ANALYTIQUE

SCIENCE DES FAITS DE FONCTION

Quand on considère leur simplicité ou leur complexité relative, les faits de fonction se divisent en deux classes qui comprennent l'une, les faits élémentaires, l'autre, les faits spéciaux.

Nous rangerons dans la première les fonctions que nous appelons « somatiques » (de *σώμα*, corps, dans le sens de forme déterminée) et dont les effets se bornent à produire les corps, à les conserver ou à les régénérer. Elles sont donc essentielles et irréductibles puisque, sans elles, il n'y aurait pas de corps. Leur ordre, régulier et constant, se rattache d'une part aux propriétés fondamentales des éléments de structure, de l'autre à ce que les conditions de milieu ont de plus général et de plus fixe. Observables dans tous les corps, elles se laissent constater sans trop de peine, car le détail entier des faits se lie à l'action de causes connues et leur accord seul est un phénomène nouveau. Ces fonctions, simples, nécessaires et faciles à étudier, constituent les éléments de la Praxéologie.

Une seconde classe comprendra les fonctions complexes et variables qui résultent des influences médiates et profondément modifiées du milieu. La production des phénomènes admet alors des causes et des conséquences lointaines qui s'entre-croisent et se prolongent sous la loi d'une incessante mutabilité. Ici le trait caractéristique des fonctions est une transformation du principe d'activité

qui semble subordonner ses effets à une direction personnelle. Devenu conscient et actif, l'être paraît doué d'initiative et d'autonomie. Par suite, il y a rupture dans l'enchaînement des faits. On ne peut plus expliquer les choses en les étudiant du dehors ; il faut combiner l'introspection et l'observation. Ces phénomènes sont appelés « psychiques » par opposition aux somatiques. Nous adopterons ces termes consacrés par l'usage, mais sous la réserve expresse qu'ils visent seulement une dissemblance d'aspect dans les faits et n'impliquent pas une différence de nature dans leur cause. Les fonctions psychiques, modifiées par une foule d'influences malaisées à débrouiller, représentent ce que les manifestations de la force d'activité ont de spécial ou de variable.

Exposons les séries de problèmes qu'auraient à résoudre ces deux sections de la Praxéologie analytique.

I. — PRAXEOLOGIE ÉLÉMENTAIRE OU SOMATOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS DIRECTES OU AUTOMATIQUES

THÉORIE DES FONCTIONS SOMATIQUES

Toute forme définie a des conditions d'existence en dehors desquelles on ne pourrait ni la percevoir, ni la concevoir. Elle doit occuper une portion de l'espace et durer un intervalle de temps. De là, résultent deux fonctions essentielles chargées de pourvoir, l'une à la croissance des corps, l'autre à leur conservation. La première les conduit d'un linéament initial au plein développement de leur grandeur; la seconde assure leur persistance depuis le moment où ils commencent d'être jusqu'à celui qui marque leur terme final. Ces fonctions résultent d'un rapport direct entre les propriétés des éléments de structure et les actions de milieu. Soumises aux lois d'un déterminisme strict, c'est-à-dire d'un automatisme qui exclut toute idée d'initiative, elles entrent en activité quand le milieu les stimule et s'arrêtent lorsque son influence cesse de se faire sentir ou leur est contraire. Le monde des corps bruts nous montre les fonctions somatiques réduites à des phénomènes d'accroissement. Chez les plantes, des phénomènes de rénovation s'ajoutent aux précédents. Les animaux remplissent en outre des fonctions psychiques. D'ordinaire le langage les confond toutes sous le nom de vie. Mais une étude méthodique doit les spécifier avec soin et la nature nous enseigne à les séparer puisque ses règnes nous en offrent l'analyse. Dans le monde animal lui-même, la disjonction des deux séries de fonctions s'ef-

fectue par leur condition d'alternance. Durant la phase embryonnaire, les êtres qui, plus tard, seront animés, se développent sous l'unique loi du somatisme et lorsque, ensuite, ils sont devenus capables d'activité psychique, celle-ci, qui prédomine durant la veille, reste subordonnée pendant le sommeil. Les deux vies sont donc théoriquement distinctes et chacune d'elles doit être examinée à part.

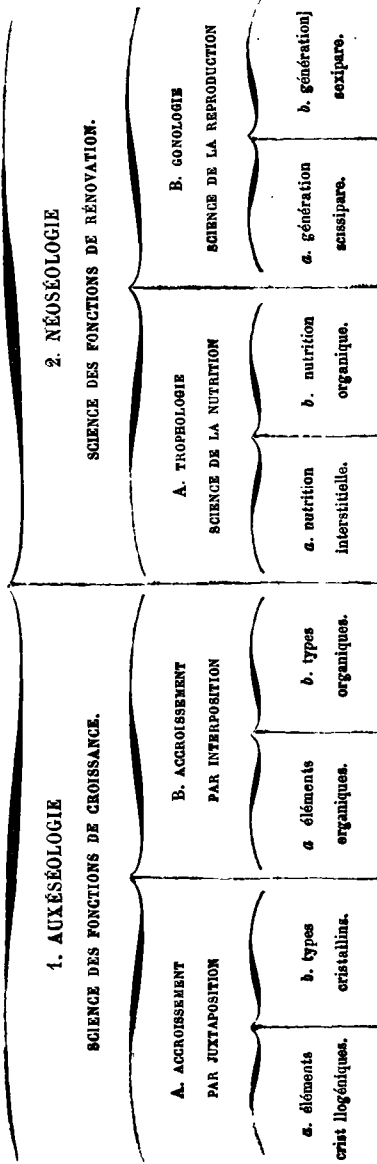
On attribue les fonctions somatiques des corps vivants à une propriété de leurs tissus que Glisson, médecin philosophe du XVII^e siècle, a le premier qualifiée d'« irritabilité ». Mais c'est là un point de vue trop restreint, puisque les corps bruts ont également des fonctions. Si par irritabilité on entend le pouvoir de réagir contre les actions de milieu, les anorganismes n'en sont pas dépourvus et la différence entre les deux groupes est seulement de degré. Nous avons à chercher comment des formes quelconques croissent et durent. Malgré l'étroit rapport qui unit la fonction de croissance et celle de conservation, l'analyse peut encore les séparer puisque la première s'accomplit seule quand une forme s'accroît sans rénovation de substance, comme on le voit par l'exemple des cristaux ; et, de même, la seconde, quand la substance se renouvelle sans que les dimensions changent, comme il arrive chez les organismes adultes. La fonction de croissance est universelle et rend compte de la formation de tous les corps ; celle de rénovation est spéciale aux êtres vivants.

1. — AUXÉSÉOLOGIE, SCIENCE DES FONCTIONS DE CROISSANCE

Étudiés aussi près que possible de leur origine première, au moment où ils atteignent les moindres dimensions que la perception puisse saisir, les corps consistent en éléments d'une petitesse extrême qui se multiplient, s'agrè-

PRAXÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE OU SOMATOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS DIRECTES



gent et se coordonnent d'après certaines lois. Chaque forme est le résultat d'une « formation », le produit d'une agglomération de substance, l'effet d'une force qui assemble et rend solidaires une quantité de particules. L'idée même de structure suppose un travail successif, une évolution plastique qui a son point de départ, son terme, et conduit les choses de l'état de rudiment ou de germe à leur plus complet développement. Inhérente à tous les éléments de structure, l'aptitude à croître est une propriété fondamentale sans laquelle les formes n'arriveraient pas à se produire sous une grandeur assignable. Son étude doit conséquemment être l'objet des premières recherches de la Somatologie. Nous l'appelons « Auxéséologie » (de *αυξησης*, accroissement). Elle montre comment les dimensions des êtres, à partir d'un élément initial, augmentent jusqu'à parfaite réalisation de leur type d'espèce. On se borne communément à considérer, dans cet ordre de fonctions, les phénomènes d'accroissement; il faudrait cependant tenir aussi compte de ceux de décroissement qui complètent le cycle évolutif. La fonction comprendrait alors tout changement normal de grandeur, soit en plus, soit en moins.

Il est d'usage de rattacher la croissance à une propriété d'évolution et de définir celle-ci « l'aptitude des formes à s'accroître dans les trois dimensions avec ou sans changements graduels de conformation » (Robin). Mais on fait à tort de l'évolutivité le privilège des corps vivants. La faculté de croître est générale et les cristaux se produisent comme les organismes, par appropriation de substance. Ils doivent donc trouver place dans l'étude de cette fonction, avec d'autant plus de raison qu'ils n'en connaissent pas d'autre et qu'on peut l'observer chez eux dégagée de toute complication. Il y aurait alors à distinguer deux modes d'accroissement, l'un par juxtaposition, qui caractérise les corps bruts, l'autre par interposition, propre aux corps vivants.

A. — Accroissement par juxtaposition.

Dans des conditions d'extrême simplicité propres aux anorganismes, la croissance s'effectue par apposition successive d'éléments dont les couches se recouvrent l'une l'autre, s'immobilisent dans leur rapport respectif et ne changent plus. Ce mode de formation est à étudier d'abord dans les éléments, ensuite dans les types.

a. — Comme les éléments des cristaux sont disposés en forme de petits polyèdres massifs, ils ne peuvent s'agréger qu'en adhérant par leurs faces, sous l'influence de la cohésion. Cet effet se produit au moment même où la substance des molécules passe de l'état liquide à l'état solide. Les premiers éléments constitués offrent sur chacune de leurs faces un plan préparé pour la formation d'éléments pareils. C'est une base établie, une assise qui attend d'autres assises. Les particules prêtes à se fixer, trouvant au contact d'éléments déjà fixés des conditions d'équilibre, se colloquent à leur surface dans l'ordre qu'assigne le linéament plastique. Chaque parcelle d'un cristal, douée d'une virtualité de croissance, est donc apte à devenir le centre d'une construction. Appelant à elle, dans le milieu où abonde sa substance, des matériaux homogènes, elle provoque sur chacune de ses faces libres le dépôt de strates qui se superposent. Il y a là pour les cristaux un principe d'accroissement régulier, une évolutivité véritable à laquelle conviendrait le nom de « constructivité ».

b. — La même cause rend compte de l'accroissement des cristaux conformément à des types déterminés. Le développement corrélatif des axes, des faces, des angles et des arêtes est la conséquence de la configuration des éléments et des lois qui président à leur assemblage. Sur des faces

planes et dans une eau mère d'une richesse uniforme, la stratification doit s'opérer avec une égale activité dans tous les sens et l'identité du type initial se maintient sous des dimensions amplifiées. Toutefois, des influences encore mal connues peuvent modifier la structure en cours d'évolution et produire des phénomènes de polymorphisme.

Dans des conditions aussi simples, l'accroissement des corps bruts semblerait devoir être indéfini. On leur attribue en effet la propriété de croître sans terme assignable et l'on oppose ce caractère à l'évolutivité toujours limitée des organismes. Mais c'est là une erreur flagrante. En fait, le volume des cristaux ne dépasse guère des dimensions très réduites, et ceux qui, par exception, en atteignent d'un peu notables, constituent des monstruosité. La difficulté de maintenir, au delà d'un certain volume, la régularité du type, la rectitude des axes ou des arêtes, la planimétrie des surfaces, l'ouverture des angles et l'exacte symétrie du système, oppose un obstacle invincible à la formation de cristaux géants. On n'en connaît point dont la taille approche de celle d'un eucalyptus ou d'une baleine. Des montagnes peuvent, il est vrai, se composer du même marbre ou du même granit; mais ce sont là des agglomérations de cristaux et, comme importance de masse, on en trouverait l'équivalent dans les bancs de coquillages ou les récifs de polypiers susceptibles, comme la jetée madréporique dont est bordée la côte nord-est de l'Australie, de se développer sur une longueur de 1600 kilomètres.

B. — Accroissement par interposition.

Au lieu de se faire à l'extérieur, par apposition superficielle de substance, l'accroissement des organismes

s'opère à l'intérieur, par interposition d'éléments. Ce mode de formation s'applique, d'une part à la genèse des matériaux organiques, de l'autre à celle des types.

a. — Quoique les cellules dépassent beaucoup en volume les molécules intégrantes des cristaux, puisqu'il est possible de les voir, leurs dimensions sont toujours fort restreintes parce qu'elles doivent se nourrir par osmose, à travers des parois à la fois minces et résistantes, ce qui limite leur grandeur possible. Elles ne peuvent donc constituer de corps volumineux qu'à condition de se multiplier et de s'agréger. Ces éléments se propagent par segmentation successive. Le nucléole, centre le plus actif de la vitalité cellulaire, se dédouble, ce qui entraîne la division du noyau, puis la bipartition du protoplasme contenu dans l'enveloppe commune, et, en place d'une cellule unique, on a deux cellules voisines qui, s'accroissant et se partageant à leur tour, en produisent de nouvelles. Cette prolifération, dont chaque cellule est le siège, s'accomplit dans la masse entière qui augmente par une sorte d'intumescence. Au rebours des plastides cristallins qui ne servent qu'une fois à l'accroissement de l'ensemble et dont le pouvoir s'épuise en s'exerçant parce qu'il se réduit à provoquer des adhérences fixes sur les faces libres, les plastides organiques possèdent un pouvoir indéfini d'évolution qui s'exerce sans relâche et gagne sans cesse parce que, chaque élément nouveau contribuant à en produire d'autres, la rapidité de la croissance est en raison de leur nombre. Traduits en formules arithmétiques, le mode d'augmentation des corps bruts représente une addition et celui des corps vivants une multiplication ou mieux une élévation aux puissances.

A mesure que les cellules se forment, elles s'intercalent entre les cellules antérieures, se soudent par coalescence et produisent, non plus comme les plastides cristallins, une architecture compacte dont les axes et les faces sont recti

lignes, mais des tissus mous et flexibles à contours curvilignes. En outre, les conditions variables de l'accroissement diversifient la structure des trames organiques. Le protoplasme et ses dérivés se prêtant à revêtir un grand nombre de formes isomériques, des différences presque inappréciables de pression, d'état physique ou de composition suffisent à déterminer des transformations plastiques. Des changements de substance et de configuration résultent pour les cellules de la place qu'elles occupent et des influences qu'elles subissent. Ces changements restent limités chez les plantes et leurs éléments se modifient sans trop se dénaturer. Chez les animaux, le cycle des métamorphoses est plus étendu et les cellules primordiales, disparaissant en partie, sont remplacées par les cellules caractéristiques des divers tissus. La mutabilité des éléments organiques et leur aptitude à produire des agencements variés donnent à la matière vivante une plasticité indéfinie.

b. — Quant aux types, leur croissance s'effectue sous des lois moins simples. En général, celle des cristaux ne modifie pas leur plan et agrandit simplement leurs dimensions. Au contraire, les organismes changent aux stades successifs de leur évolution. L'embryogénie, ou, selon la terminologie d'Haeckel, l'« ontogénèse », décrit les mutations que les formes vivantes éprouvent durant le cours de leur existence. D'ordinaire, les embryologistes se contentent de les observer pendant une période qui correspond à la gestation des mammifères ; mais, quoique les transformations qui s'accomplissent durant le premier âge soient les plus considérables, leur étude est insuffisante et la science devrait embrasser toutes les phases de la fonction.

Chaque animal provient d'une cellule ovarique qui se divise d'abord en deux, puis quatre, huit, seize cellules, etc. Leur assemblage prend alors une apparence

mûriforme, se creuse à l'intérieur par suite d'une moindre abondance de matière assimilable et forme une espèce de poche (« *gastrula* ») qui s'aplatit sur elle-même. Ainsi se trouvent constitués deux « feuillets germinatifs » dont la théorie, ébauchée par Wolf (1759), a été complétée par von Baer (1828). L'un, interne ou inférieur (feuillelet végétatif de Baer, trophique de Remak, entoderme de Huxley), sert à produire les organes de nutrition et de génération; l'autre, externe ou supérieur (feuillelet animal de Baer, sensoriel de Remak, ectoderme de Huxley) est le point de départ des organes de la vie de relation. Par voie de dédoublements ultérieurs, le feuillelet végétatif se partage en feuillelet vasculaire, dont procèdent le système circulatoire et ses annexes (cœur, vaisseaux, reins, glandes génératrices...), et en feuillelet muqueux, aux dépens duquel se construisent le tube digestif, le foie, les poumons... De même, le feuillelet animal se divise en feuillelet cutané, d'où se dégagent la peau, le système nerveux central et les organes des sens; et en feuillelet musculaire, qui se transforme en muscles et os.

D'abord informe et rudimentaire, le canevas de l'organisme se débrouille par degrés. Des échafaudages provisoires se dressent, le plan se dessine et les organes se produisent par une suite d'« épigénèses » dont Harvey et Wolf (*Theoria generationis*, 1759) ont établi la théorie. L'ensemble s'achève par des différenciations progressives qui déterminent successivement l'embranchement, la classe, l'ordre, le genre, l'espèce et, au terme de cette genèse, ce qui dans le principe était un embryon vermiforme, réalise un type complexe.

Chez les corps vivants la fonction de croissance est imitée et s'arrête, le terme normal une fois atteint. On constate néanmoins, dans une même espèce, de notables inégalités de développement. Des classes entières, favorisées par une humectation permanente, ont le privilège d'un accroissement indéfini. Les arbres, les poisson

et les cétacés croissent tant qu'ils vivent, mais avec toujours plus de lenteur.

Ainsi l'accroissement conduit tous les corps, bruts ou vivants, d'un point de départ imperceptible à la pleine réalisation de leur type. Ce travail d'appropriation de substance, simple et uniforme chez les cristaux où il se réduit à une superposition d'éléments pareils, est complexe et variable chez les organismes qui augmentent par intumescence. On ne saurait imaginer, pour les formes, un mode de production qui ne rentre pas dans l'un ou l'autre système.

2. — NÉOSÉOLOGIE, SCIENCE DES FONCTIONS DE RÉNOVATION

Après la fonction de croissance qui amène les formes à la grandeur dans l'espace, examinons celle de conservation qui assure leur persistance dans le temps. Elle n'est pas moins générale et nécessaire, car l'existence implique à la fois grandeur et durée, et il servirait de peu aux choses de venir à l'être si elles devaient s'évanouir à peine formées. Leurs conditions de permanence diffèrent selon que les corps sont bruts ou vivants.

Seuls les cristaux possèdent une immutabilité sans terme assignable. Solides aux températures ordinaires, ils exigent pour changer d'état des degrés de chaleur qui ne se rencontrent que par exception. Leur substance, toujours définie, est en général stable et ses éléments, une fois engagés dans des combinaisons fixes, en sortent difficilement. Enfin, leur architecture compacte et massive emprunte à la cohésion une force continue de résistance. Grâce à ces garanties de durée, les corps bruts subsistent indéfiniment dans un milieu peu variable. Il faudrait, en effet, pour les détruire, une action dynamique capable de

les réduire en poussière, ou une action physique assez intense pour les fondre, ou une action chimique qui les dénature, ou une dissolution qui les désagrège. Aussi longtemps qu'une de ces causes ne vient pas compromettre leur intégrité, les cristaux se conservent sans avoir besoin de remplir des fonctions spéciales. Le même concours de forces qui a déterminé leur croissance persiste sans interruption et leur procure, sauf accident, une pérennité normale.

Des conditions différentes, physiques, chimiques et plastiques mettent les organismes en état permanent d'instabilité. Leur substance, en grande partie composée de fluides, en a la mobilité moléculaire. En outre, à raison de sa composition complexe, elle est altérée par de faibles influences, sujette à des réactions sans nombre. Enfin la structure des corps vivants se modifie par évolution. L'équilibre vital, précaire et sans cesse troublé, serait donc bien vite détruit s'il n'était rétabli sans cesse par une fonction conservatrice qui, indistincte chez les corps bruts, se spécialise chez les êtres organisés.

La science de ce nouvel ordre de faits serait à peu près représentée par ce que, depuis Haller, on appelle « Physiologie » (*Elementa Physiologiæ*, 1757). Mais ce terme est doublement défectueux en ce que l'étymologie lui assigne un sens trop large et l'usage un sens trop restreint. Comme le mot de Physique dont le radical est le même, malgré le peu d'analogie des deux sciences, celui de Physiologie (de φύσις, nature), a l'inconvénient de paraître annoncer une étude générale de la nature alors qu'on se borne à considérer un de ses aspects. Une désignation aussi vague serait applicable à toutes les sciences ou plutôt ne conviendrait qu'à leur ensemble. On souhaiterait une dénomination mieux appropriée, indiquant une classe déterminée de fonctions. A défaut d'autre, nous proposons celle de « Néoséologie » (de νέωσις, renouvellement). Quoique des recherches de Physiologie remontent aux temps anciens, la science

ne s'est constituée à l'état positif que dans l'âge moderne. On peut, avec M. Huxley, tenir Descartes pour son fondateur, puisque, écartant les hypothèses métaphysiques par lesquelles l'antiquité avait cru rendre compte des phénomènes de la vie, il a le premier, dans son *Traité de l'homme*, cherché à les expliquer par des causes d'ordre physique, et réduit le fonctionnement des organes à un mécanisme d'actions.

Il convient de distinguer deux sortes de fonctions rénovatrices qui pourvoient l'une à la conservation des individus par la nutrition, l'autre à celle des espèces par la génération.

A. — Trophologie, science des fonctions de nutrition.

Le premier besoin des êtres vivants consiste à renouveler leur substance qui s'altère continuellement. On doit regarder l'oxydation des tissus comme le phénomène fondamental de la vie. L'oxygène de l'air les brûle en se combinant avec eux, dégage ainsi au profit de l'activité vitale les forces qu'ils contenaient et ramène leurs éléments à un état de composition plus simple sous lequel, devenus impropres à l'entretien de la vie, ils sont bientôt éliminés. Tous les développements de la chimie organique résultent de ce fait initial. Les êtres ne sont actifs qu'à condition de se décomposer et ne subsistent qu'à condition de se recomposer à mesure, de remplacer leur substance qui s'écoule et de maintenir son intégrité toujours menacée. Conséquemment la vie se résout en destructions et réparations alternatives ou plutôt simulmilieu car, sans usure de tissus, pas de force disponible et, sans rénovation de substance, pas de durée. A l'inverse des corps bruts qui ont pour garantie de persistance l'immuabilité de leur condition, les organismes ne peuvent prolonger leur existence que par une suite ininterrompue de

changements. Hegel a défini la vie « un travail chimique qui dure ». Les êtres vivants offrent l'étonnant spectacle de corps dont la forme se maintient pendant que la matière se renouvelle. En eux, dit Cuvier, « aucune molécule ne reste en place ; toutes entrent et sortent successivement. La vie est un tourbillon continu dont la direction, toute compliquée qu'elle est, demeure constante » (*Rapport sur les progrès des sciences naturelles*, p. 183). Citons encore Cl. Bernard : « Cet état d'équilibre perpétuellement mobile est le caractère immanent de la substance organisée et vivante, la manifestation la plus simple et la plus générale de la vie dans les plantes comme dans les animaux. L'irritabilité nutritive est la première propriété qui apparaisse et la dernière qui disparaisse ; c'est cette propriété qui, tant qu'elle subsiste dans un élément, oblige à dire que cet élément est vivant, et qui, lorsqu'elle est éteinte, oblige à dire qu'il est mort. Elle est la condition indispensable de la manifestation de toutes les autres propriétés, sensibilité, contractilité, motilité, qu'elle domine par sa généralité et son importance. Pour tout dire en un mot, elle est la caractéristique absolue de la vitalité » (*Cours de Physiologie générale, Revue scientifique*, 11 octobre 1873).

On appelle « nutritivité » ou « irritabilité nutritive » la propriété que possèdent les éléments organiques d'opérer des échanges de substance avec le milieu qui les baigne, d'appeler à eux certains principes, de se les incorporer pour un temps, puis de les user et, finalement, de les expulser. Mais on en fait à tort le privilège de la vie. Si, comme il est rationnel, on tient l'appropriation de la substance pour le fait essentiel de la nutrition, la fonction, réduite à ces termes, se retrouve chez les cristaux. Seulement, elle se confond en eux avec la croissance et s'accomplit une fois pour toutes. L'incorporation est définitive et la nutritivité, fonction permanente pour les corps vivants, est momentanée pour les corps bruts. Cependant,

elle peut réapparaître par circonstance. M. Pasteur a signalé des faits curieux de réintégration cristalline qui ont avec la nutrition une frappante analogie : lorsqu'on plonge un cristal mutilé dans son eau mère, pendant que les faces intactes s'accroissent régulièrement, un travail plus actif s'opère sur les parties brisées, ferme les cicatrices, refait les angles, rétablit les arêtes et tend à reconstituer le type dans son intégrité.

Pour l'ensemble des corps vivants, la fonction trophique a une importance si grande qu'elle sert à les caractériser. Son activité augmente à mesure que la vie s'élève. Limitée chez les plantes, en raison de la fixité relative de leurs éléments, elle est surtout développée chez les animaux qui dépensent davantage et s'usent plus vite. En un mois, la substance du corps humain est presque entièrement renouvelée.

On donne à l'étude des faits de nutrition le nom de « Trophologie » (de τροφή, aliment). Deux degrés de complexité sont à distinguer dans la fonction : les substances alibiles peuvent être, soit absorbées directement, soit ingérées et soumises à une élaboration préalable. En d'autres termes, la nutrition est interstitielle ou organique. La première, générale et continue, s'effectue par osmose dans les éléments anatomiques ; la seconde, spéciale et intermittente, s'opère dans des appareils où les aliments sont convertis en fluide nourricier.

a. — Le point de départ de la nutrition doit être cherché dans les aptitudes chimiques du protoplasme qui, même non organisé, est une substance vivante, car il possède la propriété caractéristique de renouveler ses éléments et de maintenir sa composition. Cette propriété se perd sous l'influence des anesthésiques dont l'effet est de coaguler le protoplasme et de suspendre ainsi, chez les animaux comme chez les plantes, les fonctions essentielles de mouvement, de sécrétion et d'assimilation. L'anesthé-

sique est donc le réactif, non de la sensibilité, mais de la vie elle-même. Pour Cl. Bernard, ce qui lui résiste est brut, ce qui lui cède, vivant. Il importerait de savoir le détail des mutations trophiques subies par le protoplasme ; mais les combinaisons qui s'accomplissent en lui sont encore trop mal connues pour pouvoir servir de base à la théorie de la fonction.

Tout se réduit, pour les éléments de structure, à une absorption d'aliments fluides puisés directement dans le milieu. L'assimilation et la désassimilation s'effectuent dans les cellules et la nutrition totale des organismes est la somme de leurs réintégrations partielles. En vertu de son irritabilité, chaque cellule, mise en contact avec des matériaux alibiles dilués, les absorbe, les modifie, se les assimile, puis les décompose et les expulse. Comme elle renferme sous une enveloppe perméable des composés en partie liquides et très altérables, des phénomènes d'« osmose » (de ὄσμος, passage) se produisent à travers ses parois qui tantôt absorbent et tantôt restituent. Un échange permanent de substance s'établit ainsi entre la cellule et son milieu. Les matières cristalloïdes diffuses traversent par « endosmose » sa pellicule colloïde, se mêlent aux liquides intérieurs, forment avec eux, sous l'influence de la chaleur et de la lumière, des combinaisons complexes, et deviennent colloïdes ou insolubles. En cet état, la matière est retenue et incorporée. Le nucléole s'accroît et émet des granulations, germes de cellules futures. Mais le fonctionnement de la vie, même réduit à des actes aussi simples, entraîne une dépense de force et par conséquent l'usure ou la décomposition des substances. Les matériaux de la cellule, brûlés par oxydation pour produire de la chaleur et du mouvement, redeviennent cristalloïdes ou diffusibles. Traversant alors de nouveau l'enveloppe vésiculaire, ils sont éliminés par « exosmose » et restitués au milieu inorganique, prêts à parcourir d'autres cycles de métamorphoses.

Simple phénomène chimique dans le protoplasme, la nutrition subit dans les cellules un commencement de spécialisation et le travail se divise entre leurs parties. Tandis que le protoplasme intérieur, excipient universel, est le siège des mutations continues de la substance, l'enveloppe, instrument dialyseur, absorbe et exhale; le nucléole sert à la multiplication des germinules cellulaires; le noyau donne à la cellule sa consistance et remplit peut-être quelque fonction chimique. On voit ainsi poindre dans les éléments de structure le principe d'organisation fondé sur la différenciation des parties et la spécialité des fonctions.

Ce même mode de nutrition, généralisé dans les tissus, devient commun à des systèmes de cellules, qu'elles soient de même nature ou morphologiquement distinctes. Une sorte de circulation s'établit pour l'ensemble par imbibition et chaque élément choisit dans le liquide plasmatique les matériaux dont il a besoin. Mais alors la fonction tend à varier par suite de la situation des cellules dans les tissus et de celle des tissus dans l'organisme.

b. — La nutrition interstitielle, suffisante pour les éléments de structure, ne le serait pas pour les organismes composés et la fonction a dû se compliquer afin de subvenir à des exigences accrues. A mesure, en effet, que les organes sont plus nombreux et plus divers, ils demandent des aliments mieux appropriés et, lorsque la grandeur augmente, il est difficile de les amener du dehors au point où la nutrition les réclame. Les êtres ainsi conformés ont besoin d'un milieu intérieur (sève, sang ou lymphé) qui pénètre les tissus, serve de véhicule aux échanges et fournisse aux éléments anatomiques la nourriture qui leur convient. Ils portent alors avec eux une provision de substance assimilable; mais ils sont astreints à la reconstituer par intervalles, sous peine de l'épuiser en peu de temps. Ce mode de nutrition à deux degrés surajoute une

onction nouvelle à la précédente, et la nutrition organique, inégalement développée dans les plantes et chez les animaux, prépare les matériaux dont vivent les éléments.

Par leur manière de se nourrir, les plantes tiennent le milieu entre les éléments anatomiques et les animaux. Comme les premiers, en effet, les végétaux empruntent au milieu les matériaux dilués de leur alimentation; mais, comme les seconds, ils leur font subir une élaboration interne et les transforment en fluide nourricier. Après avoir renversé l'une après l'autre les barrières par lesquelles Cuvier avait séparé les deux règnes organiques, la science ne laisse plus subsister entre eux qu'une différence : c'est que les plantes sont capables d'organiser la matière brute, tandis que les animaux ne peuvent le faire et ont besoin d'aliments déjà organisés. Seules, les plantes ont le pouvoir de produire du protoplasme avec des composés minéraux. Les animaux, hors d'état d'opérer cette synthèse, sont obligés de s'en approprier le produit aux dépens des végétaux. Néanmoins, la distinction n'est pas absolue. D'une part, en effet, les animaux empruntent, comme les plantes, des éléments aux milieux inorganiques (oxygène, eau, sels...); de l'autre, la nutrition des plantes est singulièrement activée par des détritiques organiques (humus, engrais...). On observe même chez les végétaux parasites ou carnivores un mode d'alimentation qui se rapproche beaucoup de celui des animaux. Enfin, les plantes n'absorbent, pour s'en nourrir, que des substances composées et les aliments des animaux en diffèrent seulement par un degré supérieur de combinaison. Cependant, le trait essentiel persiste et forme frontière.

Les matières dont se nourrissent les plantes sont absorbées, liquides par les racines et gazeuses par les feuilles, puis mêlées, élaborées et transformées en sève. Ce liquide nourricier remplit un système de canaux, pénètre par osmose dans les cellules, par imbibition dans les tissus, par capillarité dans les vaisseaux et tour à tour monte et

descend par une sorte de systole et de diastole qui suit l'ordre des saisons. Diverses sécrétions se produisent dans des organes spéciaux. La tâche d'élimination finale incombe à l'évaporation, aux exsudations et aux exhalations.

Des besoins plus complexes s'imposent à l'organisation des animaux. Les tissus actifs qui dominent dans leur structure sont extrêmement altérables et vite usés, en raison de leur activité même. Par suite les êtres animés devaient se nourrir d'aliments plus riches que ceux dont se contentent les plantes et qui suffisent à leur inertie. Ils exigent des substances déjà composées par la vie, partant plus aptes à l'entretenir, et qu'ils empruntent, soit aux végétaux, soit à des animaux phytophages, c'est-à-dire après qu'elles ont subi un ou deux degrés d'élaboration. Ces substances concentrées ne sont plus, comme les précédentes, diffuses, diluées et offertes par l'agitation des milieux ambiants, mais dispersées, et en amas. Il faut donc que l'animal puisse les chercher où elles se trouvent, les saisir quand il les rencontre, les ingérer, les digérer et les convertir en un liquide adapté aux conditions de l'absorption interstitielle. La nutrition des types supérieurs comprend ainsi une multitude de fonctions particulières parmi lesquelles on distingue : 1° celles qui ont pour objet, d'abord de constituer le fluide nourricier (préhension des aliments, mastication, déglutition, — digestion, chylification, absorption du chyle), puis de le répandre dans l'économie afin de le mettre partout en contact avec les éléments anatomiques (circulation artérielle, capillaire, veineuse, lymphatique); 2° celles qui, chargées de revivifier la masse du sang, alimentent le sang artériel de l'oxygène nécessaire à la combustion des tissus et débarrassent le sang veineux de l'acide carbonique dont il est chargé (respiration); ou enfin, qui maintiennent le fluide nourricier dans un état de pureté constante par l'expulsion des résidus de la digestion et l'élimination des matériaux usés (excrétion, urination, transpiration). Des sécré-

tions spéciales produisent les liquides nécessaires au jeu de divers organes. Ces nombreuses fonctions, dont chacune se subdivise en plusieurs autres, varient avec la conformation des êtres et posent à la Trophologie une foule de problèmes.

Les deux modes, interstitiel et organique, de la nutrition, assurent la conservation des corps vivants, en remédiant à mesure aux altérations incessantes que leur substance subit. Toutefois, la fonction trophique ne peut maintenir qu'un temps l'intégrité des organismes et l'ordre instable qu'elle travaille à rétablir doit forcément prendre fin. Sa perpétuation exigerait en effet une balance toujours exacte entre les gains et les pertes, entre l'assimilation et la désassimilation. Or, c'est là un idéal irréalisable dans ce qu'il a d'absolu, et la nutrition, tour à tour en excès ou en défaut, plus ou moins troublée dans sa régularité, met en péril les organismes. En outre, l'activité trophique, très grande au début, éprouve, comme la croissance, un ralentissement graduel et tend d'elle-même à cesser. Dans la vieillesse, les tissus s'incrument de matières minérales et la nutrition, rendue de plus en plus difficile, finit par devenir impossible. Son arrêt entraîne la mort. L'être alors se décline et rentre dans la condition des corps bruts pour en suivre passivement les lois.

Ainsi la conservation des organismes constitue un phénomène passager, précaire et naturellement limité. La vie est un effort qui s'épuise, une évolution qui implique un terme. Tandis que les anorganismes, grâce à la fixité de leur substance et à l'immutabilité de leur structure, ont une persistance indéfinie, les êtres vivants sont tous périssables et la plupart durent peu. Cependant, cette opposition de destin n'établit point entre les deux règnes un contraste absolu et la différence qui les sépare est moins de nature que de degré. La pérennité des cristaux est en effet subordonnée à la constance des milieux et, si nul terme n'est

assigné à leur existence quand ils se trouvent, dans les couches internes du globe, à l'abri des causes accidentelles de destruction, ils sont plus exposés dans les milieux agités et variables de la surface où vivent les êtres organisés. On les voit alors se briser, tomber en poussière, changer d'état, se décomposer ou se dissoudre, ce qui est pour eux l'équivalent d'une mort. D'autre part, certains organismes semblent avoir le privilège d'une longévité sans fin. On cite des arbres âgés de plusieurs milliers d'années et, dans la classe des poissons, la vie n'a pas de terme connu. Enfin, si l'on tient compte de la rareté des morts naturelles et de la fréquence des trépas anticipés, on doit conclure que la plupart des êtres vivants ne périssent, comme les corps bruts, que par accident.

La destruction, tôt ou tard inévitable, à laquelle ils sont voués, rendait nécessaire une dernière fonction qui assurât la conservation des espèces, malgré la mortalité des individus. Il est pourvu par les faits de génération.

B. — Gonologie, science des fonctions de reproduction.

La reproduction, qui renouvelle le type, est à l'espèce ce que la nutrition, qui renouvelle la substance, est aux individus. Elle répare les pertes que la mort fait dans leurs rangs, substitue aux êtres vieillis des êtres plus jeunes qui leur ressemblent et amène ainsi des séries de générations à parcourir le même cycle vital¹. C'est comme une impulsion périodiquement répétée, une suite d'ondes qui se transmettent le mouvement et ramènent le processus évolutif à son point de départ, quelque chose d'analogue aux courbes dites renaissantes qui, développées, se reproduisent sans fin d'elles-mêmes. L'étude de ces phénomènes si longtemps mystérieux présente un intérêt

1. « Sigillatim mortales, cunctim perpetui, » (Apulée, *De deo Socratis*).

extrême. La nature n'a rien de plus étonnant que le commencement éternel des êtres et la communication de la vie à travers les âges par des créatures éphémères.

Quand on remonte en idée à l'origine des formes, il faut leur assigner pour cause première une génération spontanée, une autogenèse plastique. Ce mode de production est normal pour les corps bruts et leur prise s'opère par le simple effet d'un abaissement de température s'ils cristallisent par la voie sèche ou de l'évaporation du dissolvant s'ils cristallisent par la voie humide. Mais on n'admet guère une genèse analogue pour les éléments organiques. L'école allemande veut que les cellules procèdent toujours des cellules. On sait l'adage de Virchow : « *Omnis cellula e cellula.* » Toutefois M. Robin et l'école française tiennent que les éléments histologiques peuvent se former de toutes pièces au sein des liquides plasmatiques. Cela suppose encore un organisme préexistant. Ni les uns, ni les autres ne disent comment se sont formées les cellules initiales. Si pourtant on considère que la vie a eu son commencement dans le monde et si l'on se reporte au moment où elle a paru sous son aspect le plus simple, on est obligé de concevoir l'existence d'une matière protéique, produit de combinaisons complexes qui, comme tous les composés, dut résulter d'une autogenèse chimique. Au sein de ce protoplasme amorphe des plastides rudimentaires purent ensuite se former par une sorte de cristallisation organique propre aux substances colloïdes. Peut-être l'élaboration plastique se borna-t-elle d'abord à disposer les composés protéiques sur les divers plans que leur isométrie comporte; puis, dans la masse homogène, se constituèrent des agrégats de molécules, des granulations d'où sortirent les cellules par voie de développement. Le noyau cellulaire a pu provenir de la condensation, en forme de glomérule, de molécules albuminoïdes unies par coalescence au centre d'une parcelle semi-fluide de protoplasme, tandis que l'enveloppe serait due à

l'épaississement, par exsudation externe, des molécules superficielles constituant une pellicule. Des effets de ce genre se sont accomplis sans doute grâce à un concours de circonstances malaisées à déterminer et plus encore à reproduire par expérience, tant elles exigeraient de délicatesse, de précision et peut-être de durée. Les conditions du milieu s'étant ensuite modifiées, l'organisation naissante réussit à s'y adapter en se compliquant toujours davantage. Des modes de reproduction devinrent alors nécessaires pour conserver les types de structure et, l'autogénèse organique se trouvant désormais empêchée par un insurmontable obstacle, la vie ne put durer que par transmission continue.

Les physiologistes s'accordent à regarder la « reproductivité » comme l'attribut exclusif des êtres vivants. Il est cependant possible d'en surprendre des indices dans le monde des corps bruts, et cela aide à comprendre comment s'est effectué le passage de la génération spontanée à la génération dérivée. La production des cristaux n'est pas absolument autogène. Leurs éléments se forment comme s'ils procédaient les uns des autres et se lient en agrégats au lieu de se résoudre en particules indépendantes. Les premiers construits préparent la genèse des suivants qui viennent se déposer sur leurs faces libres. Il y a plus : une solution sursaturée de sulfate de soude ne cristallise pas si l'air lui arrive tamisé à travers un tampon de ouate et se prend au contraire rapidement si on laisse l'air arriver jusqu'à elle sans obstacle. Les expériences de M. Gernez prouvent que la prise est alors occasionnée par des parcelles impalpables du sel dissous ou d'un sel isomorphe tenues en suspension dans l'atmosphère. Elle ne le serait pas par la présence d'une parcelle hétéromorphe. Il faut le même pour reproduire le même. Ce mode de formation des cristaux où il suffit d'un fragment invisible, sorte de germe ambiant qui rappelle la panspermie, pour déterminer dans une masse liquide une soudaine élaboration

plastique, présente une analogie manifeste avec la forme la plus simple de la génération organique. Une autre expérience de M. Gernez est plus concluante encore : si, dans les deux branches d'un tube recourbé en U et plein de soufre surfondu, on sème, ici des cristaux prismatiques de soufre, là des cristaux octaédriques, le même liquide reproduit séparément les deux types. Dans ce cas, l'influence de la forme antérieure détermine, non seulement la prise, mais encore le mode de structure. On est bien près d'une génération véritable.

La fonction reproductrice, spécialisée chez les corps vivants, comprend un groupe considérable de faits dont l'étude devrait s'appeler « Gonologie » (de γόνος, engendrement). Son ordre admet deux degrés principaux de développement. Elle est fissipare ou asexuée pour les organismes élémentaires et sexipare pour les organismes composés.

a. — La génération asexuée s'opère par scission pour les éléments isolés ou homogènes et par gemmation pour les agrégats d'éléments hétérogènes.

Chez les êtres réduits à une seule cellule ou à une seule sorte de tissu, la vitalité de la substance est partout égale et chacune de ses parties, emportant avec elle les propriétés du tout, possède l'aptitude à croître, à se nourrir et à se régénérer. Il est difficile de distinguer dans les cellules le phénomène de reproduction de ceux de croissance ou de nutrition, car, prises à ce point d'extrême simplicité, toutes les fonctions se confondent. Placée dans un milieu favorable, la cellule absorbe, s'accroît et tend à se multiplier par une émission de germinules due à la segmentation spontanée du nucléole. Les globules du sang paraissent se propager de la sorte. On présume que les microphytes et les microzoaires, dont les germes insaisissables semblent partout répandus, naissent de granulations cellulaires qui, desséchées, flottent dans l'air,

mais qui, douées de réviviscence, rentrent en activité, se développent et pullulent dès qu'elles rencontrent des conditions propices. Néanmoins, la genèse des cellules s'accomplit diversement et l'on constate parmi elles, à l'état d'ébauche, des exemples de tous les modes de reproduction. Leur multiplication s'effectue, selon les cas : 1° par segmentation simple, avec bipartitions successives; 2° par gemmation, la cellule émettant un prolongement où se forme un noyau et qui se sépare ensuite par cloisonnement; 3° par copulation ou conjugaison, lorsque deux cellules voisines venant à s'unir, leurs parois se résorbent au point de contact, les protoplasmes se mélangent et les deux éléments fusionnés n'en forment plus qu'un; 4° enfin par génération endogène, quand, à l'intérieur d'une cellule mère naissent des cellules filles qui croissent, brisent l'enveloppe commune et se détachent pour mener une vie indépendante.

Les tissus homogènes, simples agrégats de cellules pareilles, se reproduisent par séparation de leurs éléments, car, dans une trame uniforme, la vie est diffuse et chaque partie apte à régénérer le tout dont elle ne diffère qu'en grandeur. On peut impunément déchirer et mettre en pièces les êtres réduits à cette structure élémentaire; loin de les détruire en les divisant, on n'arrive qu'à les multiplier. Des expériences sur la greffe animale montrent que, même chez les animaux supérieurs, la moindre parcelle d'un tissu a le pouvoir de le reconstituer.

Lorsque les organismes se composent de tissus déjà modifiés, la fonction se localise et la « gemmiparité », second mode de génération asexuée, reproduit l'ensemble hétérogène. A mesure en effet que l'organisation associe dans une forme des éléments histologiques plus divers, la séparation de l'un d'eux pouvait de moins en moins servir à régénérer le type, parce que le fragment ne ressemblait plus au tout. La génération dut alors porter sur un résumé du tout lui-même et déposer dans une parcelle complexe

ses virtualités réunies. Développée en ce sens, la reproductivité aboutit à la création de centres morphologiques distincts dont les bourgeons sont l'exemple le plus simple. La gemmation se ramène à la production d'une partie spécialisée de l'organisme où se trouvent réunies les conditions d'une évolution particulière. Il suffisait, pour la constituer, que la nutrition, plus active par places, déterminât en quelques points un excès de matière assimilable qui, douée d'une surabondance de force, tendit à s'individualiser et devint bourgeon. Ce mode de multiplication a, dans les deux règnes organiques, une importance très grande. Il explique la formation d'une multitude d'organismes dont l'unité n'est qu'apparente et qui représentent des colonies plutôt que des êtres fortement centralisés. Si, par exemple, on tient les bourgeons des plantes pour les véritables individualités végétales, caractérisées par un axe distinct de croissance, on voit que leur réunion sur une tige commune résulte de la gemmiparité. L'effet est plus manifeste encore dans la production des rejets, coullants, bulbes, caïeux, tubercules, etc., sortes de réservoirs nutritifs où s'accumulent les substances organisables et se déposent les tendances évolutives. La reproduction gemmipare s'observe aussi fréquemment chez les animaux inférieurs dont beaucoup sont agrégés. Chez les animaux supérieurs eux-mêmes, la cicatrisation des blessures et la réfection des parties perdues s'opèrent encore par bourgeonnement. Enfin, la théorie de l'épigenèse fait dériver les organes les uns des autres par une sorte de gemmation.

b. — La reproduction asexuée suffisait à régénérer les êtres dont les parties sont pareilles ou diffèrent peu; mais les organismes composés de parties dissemblables et d'organes spéciaux exigeaient un procédé moins élémentaire. Pour eux, la communication de la vie ne pouvait plus se borner à répartir la substance du générateur, car les frag-

ments détachés d'un assemblage hétérogène n'en auraient pas résumé l'unité complexe, ou à constituer un nouvel axe de croissance, parce que l'organisme véritable en implique des séries; il fallait une génération réelle, c'est-à-dire la formation, à l'aide d'organes appropriés, d'un germe reproducteur, ovule ou cellule mère, possédant à l'état potentiel les propriétés évolutives de l'organisme entier. Ce qui se transmet, en ce cas, ce n'est plus seulement une partie de l'ensemble dont le développement se poursuit après sa réparation, c'est surtout le pouvoir de parcourir un cycle vital déterminé. La génération sexuée fut la conséquence nécessaire de la différenciation des organes et de la spécialité des fonctions. Aussi les plantes et les animaux y sont-ils également parvenus à partir d'un certain degré de complexité plastique. L'observation des êtres placés sur la limite où la génération sexipare confine à la génération fissipare et parfois alterne avec elle, montre que, pour les organismes composés, la reproduction asexuée n'a qu'un pouvoir limité de conservation. Au terme d'une assez courte série, la « parthénogénèse » ne produit plus que des générations débilitées. La puissance d'évolution qui anime les êtres verrait donc son énergie décroître et s'épuiser rapidement si elle ne se retrempait à la source de la sexualité. Alors intervient la fécondation qui communique à la descendance une impulsion à la fois plus intense et mieux réglée parce qu'elle donne au germe, dû au concours de deux facteurs, comme une réduplication de vitalité et prévient les déviations inévitables qu'entraînerait dans le type un développement unilatéral.

L'acte essentiel de la fécondation consiste dans la rencontre et l'union de deux cellules fournies, l'une (ovule ou cellule ovarique) par l'organe femelle, l'autre (zoospore ou zoosperme) par l'organe mâle. Ce phénomène nous reporte à un mode élémentaire de production des cellules, par conjugaison ou copulation. Ici, seulement, les éléments qui s'allient sont très dissemblables, la

cellule femelle étant la plus volumineuse que l'on connaisse et la cellule mâle la plus petite. La première, amibiforme et passive, constitue l'élément plastique et donne la forme; la seconde, vibratile et douée de motilité, représente l'élément actif et transmet la puissance rectrice. Le spermatozoaire, toujours en mouvement, pénètre dans l'ovule par les petits canaux qui traversent son enveloppe, se résorbe dans sa substance, la complique par l'apport de ses propres matériaux et y dépose un principe d'évolution. Par suite de cette imprégnation, la vésicule germinative suit avec une vigueur nouvelle le cours de son développement et présente seule le phénomène de la segmentation progressive. Ainsi la fécondation a pour avantage de combiner dans un même germe les aptitudes évolutives de deux sortes de cellules, ce qui réalise un progrès immense sur la génération asexuée. Le résultat consiste en une formule organique contenant à l'état virtuel les conditions d'un être futur de même espèce que ceux dont il procède et dont il porte en lui l'empreinte.

Suivant la nature des types, les modes de génération varient. Les organes (sexes) chargés de produire, l'un l'œuf femelle, l'autre la semence mâle, peuvent appartenir à un même individu ou se répartir entre deux. Parmi les plantes l'« hermaphroditisme » est l'état le plus commun. Il domine encore chez les animaux inférieurs (mollusques, vers) et l'on en trouve des exemples jusque dans la classe des poissons (famille des perches). Au contraire, le « gonochorisme » (de γονή et χωρίς, séparé, Haeckel) est la loi des organismes supérieurs. La séparation des sexes a dû prévaloir parce qu'elle spécialisait davantage la fonction et assurait au produit une perfection plus grande avec une moindre déperdition d'énergie vitale pour les procréateurs. Quoique la plupart des hermaphrodites puissent se féconder eux-mêmes, il résulte des observations de Darwin que la fécondation entre-croisée est avantageuse et le plus souvent accomplie, pour les plantes, par le fait des vents ou des

insectes comme, pour les animaux aquatiques, par la dissémination des semences. « La nature, dit-il, proclame de la manière la plus évidente qu'elle a horreur d'une perpétuelle auto-fécondation ». Le gonochorisme, rare chez les végétaux, est presque général chez les articulés et les vertébrés. Il a pu provenir de l'hermaphroditisme par les unions que forment entre eux beaucoup d'hermaphrodites. Ainsi, les hélices s'accouplent doublement par paires. Un cas plus curieux se produit chez les lymnées qui forment des chaînes, chaque individu s'unissant à deux autres. Enfin, chez quelques mollusques, les deux sexes n'entrent en action que l'un après l'autre et le même animal est tour à tour mâle durant une saison, femelle durant la suivante (Milne-Edwards, *Physiologie*, t. VIII, p. 370). On touche ici à la séparation des sexes et, pour passer de la bisexualité à l'unisexualité, il suffit d'admettre que, chez certains individus, la prédominance persistante d'un sexe a déterminé l'atrophie durable de l'autre. La même transformation s'est opérée chez les plantes et, d'un état originel d'hermaphroditisme, sont sortis des types d'abord « monoïques », unissant les deux sexes séparés sur un même pied, puis « dioïques », où ils se trouvent répartis entre des pieds différents.

Au point de vue des germes reproducteurs, deux cas seraient à considérer, suivant que l'évolution est discontinue ou continue. La graine des plantes et l'œuf des ovipares, détachés de l'organisme générateur, peuvent traverser, en raison de leur résistance vitale, un arrêt temporaire de développement et attendre que les circonstances extérieures leur communiquent l'excitation nécessaire. Ces influences, dues aux seules actions de milieu pour les plantes et pour les animaux inférieurs qui disséminent leurs germes au hasard, sont provoquées dans le groupe des ovipares supérieurs et deviennent, chez les oiseaux, l'objet de soins intelligents. L'ovule plus délicat des mammifères (découvert par von Baer en 1827) avait

besoin d'être protégé. Il se développe sans interruption à l'intérieur, et les petits sortent vivants du sein maternel. On passe de l'oviparité à la viviparité par l'ovoviviparité, lorsque l'œuf, comme il arrive chez les « vipères », vient à éclosion avant la ponte. Au plus bas degré de la série des mammifères, l'ornithorynque est encore ovovivipare plutôt que réellement vivipare. Parmi les vivipares, on distingue les « didelphes » ou marsupiaux qui ont deux gestations, l'une interne, l'autre externe, et les « monodelphes » qui n'en ont qu'une. Enfin, la génération se complète, chez les « mammifères », par une fonction adjointe de lactation.

Ces divers modes de reproduction marquent dans le développement de la fonction une suite de progrès en rapport avec ceux des organismes. La fissiparité multiplie les éléments de structure par une simple division de leur substance; la gemmation, diffuse ou localisée, fait dériver les uns des autres les axes d'accroissement; enfin la sexiparité associe d'abord deux organes, puis deux organismes à la production d'un ovule destiné à régénérer le type. A mesure que la fonction se spécialise et se complique, sa puissance se resserre et la fécondité restreinte des espèces supérieures, dont les plus élevées sont unipares, contraste avec l'effroyable pullulation des organismes inférieurs. La force génératrice, prodigieuse au début, ensuite contenue et de mieux en mieux réglée, assure la perpétuité des formes, non plus par une exubérance de germes voués la plupart à une destruction aveugle, mais par une sollicitude intelligente et une économie meilleure.

En somme, les deux ordres de fonctions rénovatrices, la nutrition et la reproduction, assurent la conservation des individus et celle des espèces. Par elles, les organismes maintiennent, quoique altérables, l'intégrité de leur sub-

stance, et, quoique périssables, la permanence de leur type. Pour les créations, naturellement précaires, qu'anime la vie, la durée devait être le prix d'un effort et une conquête. Cette condition leur impose, il est vrai, un labeur sans trêve; néanmoins elle est préférable à celle des corps bruts en ce qu'au lieu de les réduire à une immutabilité persistante, elle admet, comme conséquence de l'activité, la variation et le progrès.

CONCLUSION

Tel est l'ensemble des fonctions somatiques. Leur ordre se résume en faits de croissance et en faits de renouvellement. Les premiers procurent aux formes la grandeur et les seconds la durée. Tous les corps qui réalisent une structure définie passent par degrés d'un linéament imperceptible à la plénitude de leur type spécifique et ceux dont la substance s'altère ou dont le terme est marqué, se conservent par la nutrition et se perpétuent par la génération. Croître, évoluer, se nourrir et se reproduire, voilà la tâche où s'épuise l'activité purement physiologique des êtres.

II. — PRAXÉOLOGIE SPÉCIALE OU PSYCHOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS INDIRECTES OU AUTONOMES

THÉORIE DES FONCTIONS PSYCHIQUES

Un monde où les fonctions somatiques trouveraient seules à se produire ne pourrait connaître que l'existence morne des corps bruts et l'organicisme des plantes. Mais des fonctions supérieures, surajoutées aux précédentes, sont accomplies par les êtres dits animés. Grâce à la faculté dont ils disposent de sentir et de se mouvoir, les animaux entretiennent avec leur milieu des relations complexes dont l'ensemble constitue l'activité psychique.

Ce nouvel ordre de fonctions se lie aux propriétés des tissus actifs, comme le somatisme aux propriétés des tissus passifs. La fibre nerveuse réagit en transmettant des causes d'excitation ; la fibre musculaire réagit en se contractant. Ces deux sortes d'éléments de structure, dont les plantes sont dépourvues tandis qu'ils prédominent chez les animaux, procurent à ceux-ci le privilège de la sensibilité et de la motricité.

Le système nerveux est l'agent essentiel des phénomènes psychiques. Ses aptitudes fonctionnelles ressortent clairement de sa composition et de sa conformation. Produit des combinaisons les plus complexes de la chimie organique, la substance nerveuse se prête à des réactions incessantes entre des composés prodigieusement instables que les moindres influences modifient. Elle subit aisément des transformations isomériques, se simplifie et se complique tour à tour, c'est-à-dire engage ou dégage de la

force. Non moins significative, la structure de l'appareil d'innervation consiste en filets conducteurs et en centres récepteurs. On peut la comparer à un réseau télégraphique avec bureau central, postes auxiliaires, appareils de transmission et de réception. Des deux sortes de fibres, les unes, afférentes ou sensibles, transmettent aux centres les excitations périphériques; les autres, éférentes ou motrices, transmettent les incitations des centres aux muscles et les forcent à se contracter. Enfin, les centres opèrent la conversion des causes de sensation en causes de mouvement.

Par suite de son instabilité chimique et de ses propriétés conductrices, le tissu nerveux est le siège d'un travail continu qui a pour effet alternatif d'accumuler en lui de la puissance et de la répandre. Il constitue des réserves d'énergie prêtes à se diriger dans le sens de la moindre résistance. Facile à exciter, il devient l'excitateur universel. Par lui s'établit l'unité dynamique de l'organisme et la correspondance entre cet organisme et son milieu. Le système nerveux est sans cesse traversé par des courants qui ont avec les courants électriques d'évidentes analogies puisqu'ils subissent leur influence et en exercent une sur eux. Dans les deux cas, la force paraît agir en faisant varier les polarités des molécules, car, de quelque façon qu'on veuille expliquer le mécanisme de l'action nerveuse, il faut toujours, en définitive, le réduire à des mouvements moléculaires. Les inversions de courants résulteraient alors d'un changement dans la direction axiale ou le sens de rotation des molécules et la fonction des centres consisterait à opérer cette modification. Des recherches récentes ont établi une mesure approximative de la propagation de l'influx nerveux, tenue autrefois pour instantanée. Sa vitesse, d'environ 34 mètres par seconde dans les nerfs sensitifs, varie pour les nerfs moteurs, de 65 à 8 mètres suivant qu'ils sont volontaires ou involontaires et selon les conditions physiologiques de

l'expérience. (Chauveau, *Comptes rendus de l'académie des sciences*, juillet 1878.) Ces chiffres se rapprochent de ceux de l'induction dans les corps isolants (57 mètres pour le soufre, 55 dans la gomme laque, etc). Sensiblement plus lente, l'onde musculaire ne parcourt guère qu'environ 1 ou 2 mètres par seconde dans les muscles striés (Marey et Aeby) et moins encore dans les muscles lisses.

Cela posé, on conçoit qu'une cause quelconque d'excitation capable d'agir sur l'extrémité des nerfs sensitifs puisse être transmise par eux à un centre où la force, déviée, se brise, puis, reprenant son cours dans une autre direction, se propage le long des nerfs moteurs, stimule les muscles et détermine un mouvement. Quelle que soit la complexité des rapports qui unissent ces éléments, on y reconnaît toujours quatre termes : 1° l'impression ressentie et communiquée par le nerf sensitif; 2° la transformation, dans un centre, de la cause d'excitation en cause d'incitation; 3° la transmission de cette dernière par le nerf moteur; 4° enfin la contraction musculaire. Le développement de l'action nerveuse implique ainsi quatre stades : une phase d'incidence, une phase de réaction, une phase de réflexion et une phase d'exécution. Dans cette suite d'effets où la sensibilité donne le branle et que compliquent à divers degrés la conscience, la pensée et la volonté, le mouvement final est la résultante indirecte, la répercussion lointaine d'une influence venue du dehors. « C'est le monde extérieur, avec toutes ses sollicitations, qui entre en nous par la voie des sens, sous forme d'incitations sensorielles, et c'est le même monde extérieur qui, modifié, réfracté par son conflit intime avec les tissus vivants qu'il a traversés, sort de l'organisme et se réfléchit au dehors en manifestations de motricité volontaire. » (Luys, *le cerveau*, P. 258.)

Quoique les fonctions psychiques dépendent de la même cause générale que les fonctions somatiques, elles se

traduisent en effets différents. Le somatisme établit un rapport direct entre les propriétés des tissus et les influences du milieu. Un lien toujours visible unit la réaction à l'action, et le détail entier des faits, contenu dans les limites des corps, s'explique par des lois connues. Cette activité sans initiative, subie et non voulue, se développe automatiquement dans les êtres, à leur insu et même malgré eux. L'ordre des fonctions psychiques est moins circonscrit et moins simple. Les impressions qui les déterminent viennent de partout et leurs conséquences s'étendent à tout. En outre, la force se dénature en traversant l'organisme et, quand elle en sort à l'état d'acte, elle ne ressemble plus à ce qu'elle était en y entrant sous forme de sensation. Une métamorphose dont les lois échappent s'effectue dans l'intervalle et scinde la fonction en deux parts dont le raccord est un mystère. La conversion, dans les centres nerveux, des excitations en incitations s'accomplit au sein de l'obscurité la plus profonde. On ne saurait actuellement comprendre comment une impression se change en état de conscience, en idée ou en volonté, et comment de ces phénomènes peut résulter une cause de mouvement. Ici donc les faits ne s'enchaînent plus avec rigueur et, pour remonter de l'effet à la cause, il faut traverser une région inconnue. L'innervation et la conscience révèlent sous deux aspects le même phénomène vu du dehors et du dedans. Par malheur, ces aspects ne se correspondent pas et la difficulté de les concilier laisse subsister entre eux une sorte d'abîme.

Un trait particulier à l'action psychique est l'influence de l'exercice antérieur sur son développement. Au rebours des machines ordinaires qui se détériorent par l'usage, l'appareil d'innervation se perfectionne en agissant. Sa substance semble retenir quelque chose des forces qui l'ont une fois ébranlée. En vertu de ce que M. Luys appelle « la phosphorescence organique », les cellules nerveuses conservent plus ou moins longtemps le vertige des excita-

tions reçues, comme les corps phosphorescents gardent le dépôt des impressions lumineuses. Tandis que l'irritabilité nutritive s'affaiblit en se saturant, l'irritabilité du système actif gagne en s'exerçant. L'organe s'accommode à la fonction et agit avec d'autant plus de puissance, de promptitude et de précision qu'il a plus souvent agi. Son activité passée, laissant en lui des traces durables, détermine des résultantes complexes dont l'ordre dépend, non plus seulement de l'influence présente, mais de tout ce qui a précédé. La multiplicité des causes, l'ignorance de leurs corrélations et l'impossibilité de faire à chacune sa part, rendent les interprétations incertaines et ne permettent guère de préjuger sûrement ce que sera la fonction dans un cas donné.

Cette persistance de l'action nerveuse dans les centres se manifeste d'abord sous forme d'aptitudes individuelles (habitudes), acquises par l'exercice, puis sous celle de prédispositions transmises par hérédité. Ainsi se constituent des facilités d'action, des capacités ou « facultés » susceptibles de prendre un très grand développement. Les êtres animés, disposant d'une réserve accumulée de puissance, paraissent avoir une initiative propre, un pouvoir recteur dont ils usent selon l'occasion et le besoin. Quand, au sortir des fonctions physiologiques, on aborde les fonctions psychiques, on croit entrer dans un monde tout différent. A la cécité succède la clairvoyance, à l'automatisme l'autonomie. Les êtres ne sont plus des choses inconscientes et passives ; ils savent qu'ils existent, connaissent leurs états et semblent agir spontanément. Le privilège dont ils sont doués de sentir, de penser et de vouloir, nous met sous les yeux des phénomènes d'une nature étrange, d'une complexité prodigieuse et d'une délicatesse infinie qui, opposés aux fonctions uniformes et constantes de l'activité somatique, représentent ce que la Praxéologie a de spécial et de variable.

Entre ces deux classes de faits, le contraste paraît

d'abord si complet qu'on l'a supposé longtemps absolu. Au lieu de voir en elles les effets distincts d'une même cause appliquée dans des conditions diverses, on s'est plu à rêver une antinomie réelle. Alors que le monde des corps était régi par des lois, le monde des esprits fut censé se régir lui-même et l'on admit des entités idéales incluses dans les organismes pour les gouverner à leur gré. Les facultés psychiques, séparées des conditions de structure et des influences de milieu, devinrent par abstraction un principe immatériel personnifié sous les noms de ψυχή, d'*animus*, d'âme... Ce principe, indépendant des organes, mais capable de les mouvoir à ses fins, fut présumé automoteur et autonome. Anaxagore qui, le premier en Grèce, affirma nettement la spiritualité de l'âme, lui assignait pour caractère essentiel d'être la cause de sa propre activité (Aristote, *De l'âme*, liv. I, ch. 2 et liv. III, ch. 4). Platon définit également l'âme « une force qui se meut elle-même » (τὸ αὐτοκίνητον). L'ancienne philosophie l'appelait αὐτάρκτης, *vis sui potens, sui motrix*, etc. Cette conception métaphysique a été, par ses conséquences, une des théories les plus fertiles en erreurs qui soient écloses dans l'esprit humain.

Les actes psychiques ne diffèrent point par nature des actes somatiques, mais seulement en degré. Contingents comme eux, déterminés comme eux, soumis comme eux à des lois, ils se produisent dans des conditions plus complexes, à travers des séries de résultantes dont l'enchaînement échappe. La relation de la cause à l'effet, directe et visible dans un cas, est médiate et cachée dans l'autre. Elle fait un détour et subit, par la transformation des forces incidentes en états de conscience, une déviation qui brise pour nous la continuité des phénomènes. Le fil du déterminisme se brouille au point où le sens intime surgit. Comme, alors, l'agent prend connaissance des effets qui se produisent en lui sans avoir celle de leur cause, il croit être cette cause même et s'attribue l'initiative d'actions

dont il exprime simplement la résultante. La conscience, incapable de remonter plus haut qu'elle-même, fait dater son pouvoir du moment où elle devient clairvoyante. Mais c'est là une illusion pure et la loi du déterminisme ne doit pas s'appliquer aux faits psychiques avec moins de rigueur qu'aux faits somatiques. Si, en effet, les êtres animés disposaient d'une autonomie véritable, ils seraient en dehors de la nature et de la science. Le libre arbitre, présenté comme un fait sans cause, comme un pouvoir sans règle, constituerait un miracle perpétuel. S'il n'y a pas de lois dominant la volonté alors qu'elle croit ne relever que d'elle-même, toute recherche à son sujet est un non sens; et, si des lois existent, c'est la liberté qui n'existe pas (H. Spencer, *Principes de psychologie*, t. I, p. 546).

Jusqu'où s'étendent les manifestations de l'activité psychique et que doit embrasser leur étude? Son objet, tel que d'ordinaire on le définit, semble singulièrement restreint, car les êtres animés tiennent peu de place dans l'ensemble de la nature. Les philosophes ont encore amoindri comme à plaisir le champ de la science, en se bornant à considérer l'homme parmi les animaux, l'état adulte dans l'homme et, dans l'adulte, les seules facultés de la raison. Ces exclusions arbitraires limitent indûment les recherches. L'action psychique se révèle par des phénomènes sans nombre et il importe de ne négliger aucun de ceux que l'observation peut atteindre.

L'homme possède assurément les facultés les plus hautes; néanmoins, son orgueil n'a pas le droit de méconnaître chez les animaux des aptitudes de même ordre, quoique de moindre degré. L'unité du système nerveux dans la série zoologique, l'homogénéité de sa substance, l'analogie de sa structure et la similitude de ses fonctions démontrent l'unité fondamentale de l'action psychique chez tous les êtres « animés ». Seulement ses effets varient avec le type d'organisation. Si l'homme a le privilège de la

raison, la faune supérieure partage avec lui l'intelligence; la faune inférieure est régie par l'instinct, et les classes les plus abaissées sont mues par la réflexivité.

Mais, puisque le système nerveux est l'organe essentiel de l'activité psychique, il semble devoir en être la condition nécessaire, et l'on hésite à regarder les faits de conscience comme possibles chez les êtres dépourvus de tout appareil d'innervation. Cependant, cet appareil n'est qu'un collecteur d'impressions. Là même où il fait défaut, des sensations vagues, une motilité diffuse peuvent encore se produire, et l'on passe, par une pente insensible, des animaux qui offrent à peine quelques rudiments de système nerveux, aux protistes qui n'en laissent discerner aucune trace. Or, comme ceux-ci ont la motricité, dont la sensibilité est inséparable, il faut admettre qu'un mode infime d'action psychique appartient encore aux organismes les plus imparfaits. Les êtres unicellulaires, réduits à un glomérule de protoplasme, sentent et réagissent, sont impressionnés par les contacts, la chaleur ou la lumière, se contractent et se meuvent (voy. Haeckel, *Essai de psychologie cellulaire*). L'irritabilité caractérise donc tous les éléments cellulaires et se manifeste dès que s'exerce une influence mécanique, physique ou chimique. Les mouvements ainsi provoqués sont de diverses sortes (sarco-diques, oscillatoires, browniens ou vibratiles), sans qu'on puisse dire si parfois ils ne sont pas spontanés, c'est-à-dire dus à une stimulation interne. Chacun de nos éléments anatomiques possède une sensibilité propre, et tout l'organisme est sensible, quoique les nerfs ne puissent partout aboutir.

Descendons un degré de plus. Au-dessous des animaux dans la structure desquels dominant les tissus actifs, se trouvent les plantes, uniquement composées de tissus passifs. Ces organismes inférieurs sont impressionnables et disposent d'une motilité restreinte. Plusieurs de leurs éléments (zoospores, anthérozoïdes, amibes, végétaux

plasmodies...) ont le mouvement spontané, et même le mouvement intentionnel approprié, à un but. (Cl. Bernard.) Les plantes ressentent l'influence de causes externes et y correspondent en modifiant leur état d'après les impressions subies. Peut-être ne sont-elles pas dénuées d'une sensibilité obtuse, dont chaque cellule serait le siège, et qui, réagissant de l'une à l'autre, avertirait l'organisme de sa condition interne, sans pouvoir lui rien révéler du dehors. Buffon appelle la plante « un animal endormi ». En elle sommeillent des facultés qui s'ignorent, plongées dans une incurable léthargie. Quand on considère que l'on va par degrés des animaux aux protistes et des protistes aux végétaux; que des êtres ambigus ont à la fois ou successivement les attributs de l'animal et ceux de la plante; enfin que l'agent anesthésique, poison spécial de la sensibilité, produit des effets analogues dans les deux règnes, on juge malaisé de les séparer par une frontière bien nette, et l'on devient réservé en ce qui concerne la négation de tout état de conscience chez les végétaux. « Réunissant, dit Cl. Bernard, la sensibilité consciente, la sensibilité inconsciente, l'irritabilité, je crois établir que ce sont là trois expressions graduées d'une seule et unique propriété, la sensibilité, la possession de cette faculté démontrant l'unité fonctionnelle des êtres vivants, depuis la plante la plus dégradée jusqu'à l'animal le plus élevé en organisation. » (*La sensibilité dans le règne animal et dans le règne végétal*). L'inégalité de leurs manifestations psychiques résulte de différences de composition et de structure. Tandis que la plante, passive et repliée sur elle-même, est réduite à des sensations ténébreuses, l'animal, actif et tout en dehors, entretient avec son milieu des relations continuelles, se connaît, le connaît et réagit contre lui. Mais, en somme, aucun être vivant n'est dépourvu du sentiment de la vie.

Ce n'est point encore tout : parvenu au seuil de l'inorganisation, monde sourd, aveugle et muet où semblent

régner l'inertie et une passivité morne, on croit toucher la limite en deçà de laquelle finit sûrement l'action psychique. Pourtant, ici même, il faut se garder de jugements absolus. Sous sa forme la plus simple, l'irritabilité des tissus vivants confine à la vibratilité des éléments bruts et n'est peut-être qu'une vibratilité composée, propre à des substances très complexes. Puisque le principe de la vie consiste en un fait continu de combinaison chimique, il ne s'en distingue pas, et la seule différence entre les substances résulte de ce que la combinaison, transitoire dans les unes, est persistante dans les autres. Lorsqu'on réfléchit à la nature du protoplasme et qu'on se demande d'où lui vient son irritabilité, on voit qu'il ne peut y avoir en acte dans ce composé que ce qui était en puissance dans ses éléments, car leur réunion ne crée pas de la force; elle détermine seulement une résultante plus complexe. Quand la sensibilité se manifeste avec la vie dans une molécule d'albumine, elle n'y apparaît point par miracle et ne fait qu'exprimer les forces latentes des matériaux dont l'albumine est formée. Cette considération nous amène à chercher dans la nature inorganique le principe de l'activité que révèle avec éclat la nature vivante.

Si l'on tient, avec Aristote, que l'« essence de la vie est le mouvement » (*ὁ βίος ἐν τῇ κίνησει ἐστίν*), la constitution des corps bruts ouvre la porte à bien des conjectures. Leur inertie apparente nous trompe. En eux, tout s'efforce et se meut. Ébranlées par les divers modes de l'action physique, les molécules vibrent, tourbillonnent et s'agitent sans relâche. De même, dans les molécules, les atomes, cédant à leurs affinités respectives, c'est-à-dire à des concordances de mouvements, s'agrègent et se désagrègent suivant les lois d'une pondération mystérieuse. Les corps bruts n'ont-ils à aucun degré conscience du travail que leurs éléments accomplissent et des influences qui les modifient? Le cristal, qui se construit ou se brise; le solide, qui cède ou résiste à des pressions, résonne sous

un choc, se contracte ou se dilate par l'effet de la chaleur, qui réfléchit ou réfracte la lumière¹, que traversent des courants électriques ou qu'enveloppent des tourbillons magnétiques; la particule de matière pondérable que sollicite la gravitation; l'atome même de l'éther qu'anime une puissance indéfectible de mouvement, n'ont-ils d'aucune façon le sentiment de l'existence, l'intuition de l'effort et, dans leur tendance à l'action, comme un germe de désir? Des philosophes anciens ont voulu voir, dans les attractions et les répulsions des corps, la forme initiale des sympathies et des antipathies qui gouvernent les êtres sensibles. Empédocle regardait l'amour et la haine comme le principe du mouvement dans l'univers. Pour l'école Védanta, ce premier moteur était le désir. Schopenhauer a rajeuni ces vieux systèmes en identifiant la force et la volonté.

La nature inorganique est pleine d'énergies latentes et d'activités ignorées. Les phénomènes qui s'accomplissent en elle sont de même ordre sinon de même degré que ceux dont nous attribuons le privilège à la nature organique. Cl. Bernard définit la sensibilité : « l'aptitude à répondre par des modifications de toute nature à la provocation des stimulants; » mais alors tout est sensible. Les effets des forces dynamiques, physiques et chimiques sont la manifestation la plus générale et la plus simple de l'universelle sensibilité de la matière qui s'adapte incessamment aux conditions du milieu. Quand nous appelons inconscients les corps bruts, cela doit signifier seulement qu'ils ne sont pas conscients de la même manière ou dans la même mesure que nous; toutefois, des effets analogues, aussi atténués qu'on le voudra, peuvent se produire en eux sans être appréciables pour nous, leur simplicité même nous empêchant de les saisir. La condition de structure des anorganismes marque la

1. « L'âme du diamant est la lumière. » (Joubert, *Pensées*).

limite où, faute de moyens d'observation, l'investigation s'arrête; mais cette limite est en nous, non dans la nature des choses, et, pour des esprits moins bornés, le monde minéral ferait sans doute à des modes convenables d'interrogation des réponses qui diffèreraient seulement en degré de celles que font les organismes animés. (Tyndall, *Le matérialisme et ses adversaires*, Voy. *Revue scientifique*, 6 novembre 1875.) S'il est malaisé de dire où finit la conscience claire, il l'est bien plus encore de marquer le point où cesse la conscience obscure. Notre esprit qui, en tout, cherche à saisir des différences tranchées afin de distinguer les choses avec plus de netteté, arrive trop souvent à prendre des oppositions de mots pour des oppositions d'attributs. L'inconscient n'est pas le contraire ou la négation du conscient, mais un plus bas niveau de conscience, comme le froid par rapport à la chaleur, et les ténèbres par rapport à la lumière. Il n'y a probablement, dans la nature, pas plus d'inconscience absolue que de ténèbres absolues. Rien n'empêche donc d'attribuer aux corps bruts une âme inerte et captive, un infiniment petit de conscience dont chaque forme serait douée en raison même de son unité persistante dans un milieu variable. Le psychisme résulterait alors, d'une manière générale, de toute rencontre, concomitance ou lutte de forces dans un agrégat stable. C'est dire que nul état de la matière n'en peut être dépourvu. Tout corps a sa lueur ou sa lumière, une perception confuse ou nette de sa réalité propre en relation avec sa structure. Le zéro de la conscience ne se laisse pas plus concevoir que le néant, et, de même que tout ce qui vit doit se sentir vivre, tout ce qui est doit se sentir être.

On se ferait de l'univers une idée plus grande et plus juste si, au lieu de le supposer scindé en deux créations dissemblables, l'une brute et passive, l'autre consciente et active, on le regardait comme un ensemble où tout se tient, qu'imprègnent les mêmes forces, qu'animent à

divers degrés le sentiment et la pensée, dans lequel enfin l'esprit et la matière, formant une indivisible unité, se confondent et s'identifient. Sous des noms divers, une même puissance, latente dans le minéral, endormie dans la plante, éveillée dans l'animal, réfléchie dans l'homme, appelle à l'activité la série entière des êtres.

Il suffit, pour établir la théorie, que ces gradations, sans terme assignable, autorisent à présumer l'universalité de l'action psychique. Les recherches de la science se trouvent bornées à ce qu'il est possible d'explorer avec méthode. Si, comme l'absence de limites précises oblige de l'admettre, les faits se prolongent à l'infini en s'atténuant toujours davantage, nos investigations sont forcément arrêtées, à partir d'un certain degré, par l'impuissance où nous sommes de constater ou d'interpréter des indices. Par conséquent la condition psychique des corps bruts, celle même des plantes restent inexplorables pour nous. Seuls, les êtres animés peuvent être un objet de connaissance. Leur étude constitue la « Psychologie » (de ψυχή, âme). Ce terme, proposé par un auteur obscur du xvi^e siècle (Goclenius, *Psychologia*, Marbourg, 1590), puis vulgarisé par un des traités philosophiques de Wolf (*Psychologia*, dans son *Corpus philosophiæ*, Francfort, 1728-1746), a été depuis généralement usité. Mais la Psychologie positive, loin d'être la « science de l'âme », doit être plutôt une Psychologie sans âme, c'est-à-dire qu'elle se borne à scruter les phénomènes et les lois de l'activité psychique, abstraction faite de toute hypothèse sur la nature du principe animé. Afin de mieux marquer sa place dans l'ensemble de la science des fonctions, nous l'appelons « Praxéologie spéciale. »

On a longtemps assigné pour but à la Psychologie la connaissance des facultés humaines étudiées dans l'adulte au moyen de la seule introspection. Mais ce n'était là qu'un point de départ. Outre la Psychologie subjective dont le

sens intime nous livre les éléments, il y aurait à instituer une Psychologie objective où les phénomènes seraient examinés du dehors. Il convient en effet d'observer les manifestations psychiques partout où nous pouvons les saisir, en nous d'abord, puis chez nos semblables, dans l'enfant, l'homme, la femme, le vieillard, le sauvage, l'aliéné même et l'idiot; enfin, chez les animaux qu'Aristote, avec un sens profond, appelle « des hommes amoindris et pour ainsi dire des nains » (νεανώδη). La Psychologie des animaux serait surtout instructive parce que leurs facultés restreintes se prêtent mieux à l'analyse que les nôtres et nous l'offrent toute faite dans les conditions les plus diverses. Par malheur, les philosophes, trop occupés d'eux-mêmes, ont abandonné l'étude des « bêtes » aux naturalistes, qui, le plus souvent, ont fait preuve dans leurs recherches, de peu de philosophie. Mieux inspiré, Schelling regarde le degré d'importance qu'on accorde à l'étude de l'instinct chez les animaux « comme la pierre de touche infallible de la vraie philosophie. » (*Œuvres complètes*, 1^{re} partie, t. VII, p. 455.) Puisque le simple peut le mieux donner la clef du complexe, c'est aux êtres inférieurs qu'il faut demander l'explication des êtres supérieurs. « S'il n'existait pas d'animaux, dit Buffon, la nature de l'homme serait encore plus incompréhensible. »

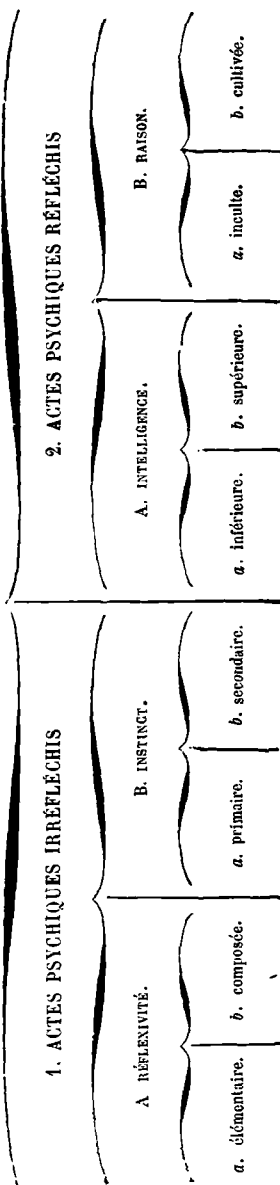
Essayons de répartir les problèmes sans nombre que soulève l'étude d'un si grand sujet. Nous commencerons par distinguer deux sortes d'actions psychiques, les unes irréflechies et involontaires, les autres accomplies avec réflexion et volonté.

1. — FONCTIONS PSYCHIQUES IRRÉFLÉCHIES

Les actes psychiques les plus simples s'exécutent avec le moins de conscience et presque sans volonté, par l'effet du mécanisme de l'appareil nerveux qui, soumis à cer-

PRAXÉOLOGIE SPÉCIALE OU PSYCHOLOGIE

SCIENCE DES FONCTIONS INDIRECTES



taines excitations, réagit de lui-même et détermine le mouvement. Il y aurait à noter dans les phénomènes de cet ordre, deux degrés d'irréflexion. L'agent peut n'avoir ni la conscience de ses actes, ni à plus forte raison celle de leur but; ou avoir la conscience de ses actes, mais non encore celle de leur fin; dans le premier cas, on a une action réflexe, dans le second un fait d'instinct.

A. — De la réflexivité.

Considérons d'abord les actes réflexes, qui, n'étant à aucun degré compliqués par des phénomènes de clairvoyance ou de volonté, constituent le plus élémentaire des effets psychiques. On les observe chez tous les animaux, et leur fonctionnement s'explique le mieux chez les moins élevés de la série. Il résulte de la mise en jeu directe des propriétés de la substance nerveuse. Représentons-nous le schéma de l'appareil d'innervation aussi simplifié que possible, c'est-à-dire réduit à un centre récepteur où aboutit une fibre sensitive et d'où part une fibre motrice en communication avec un muscle. Lorsqu'une cause appropriée d'excitation agit sur l'extrémité du nerf afférent, l'effet est transmis par lui au centre, s'y convertit en incitation, puis, passant dans le nerf déférent, réagit sur le muscle, provoque sa contraction et détermine le mouvement. Dans cet exemple, l'action nerveuse, suscitée par une stimulation externe, part de la périphérie de l'organisme et semble venir se réfléchir dans un centre qui la renvoie modifiée en motricité, comme un rayon de lumière qui, rencontrant une surface polie, se brise et suit par incidence une direction nouvelle. Le nom de « réflexe » appliqué au phénomène par lequel une impression est aussitôt transformée en mouvement, paraît dû à Descartes qui, le premier, a parlé d'« esprits réfléchis » (*Passions de l'âme*, 12 et 13, édit. Charpentier, 1865, pp. 523, 530,

et *Traité de l'homme*, 14); il définit clairement l'action réflexe et en donne une explication mécanique conforme à l'idée moderne¹. Toutefois, l'expression n'a passé qu'assez récemment dans l'usage, grâce aux travaux de Prochaska et de Legallois. Son emploi date surtout de l'ouvrage de Marshall Hall intitulé : *Aperçu du système spinal ou de la série des actions réflexes* (1855).

Cependant la réflexivité ne se réduit pas à une simple réflexion, c'est-à-dire à un changement de direction que subit l'influx nerveux dans un centre. On dit et l'on répète que l'acte réflexe s'accomplit mécaniquement, par l'effet de l'excitation, comme agit un ressort dont on presse la détente, sans que la conscience ou la volonté intervienne. Cela, croyons-nous, doit être entendu sous certaines réserves. La cécité de l'agent n'est complète que sur un point, la conversion de l'excitation sensitive en incitation motrice. Quant à la cause initiale, qui est une impression éprouvée, et au résultat final, qui est un mouvement effectué, l'être en a plus ou moins conscience et le contraire serait difficile à concevoir.

Le point de départ de l'acte réflexe est nécessairement une sensation, et une sensation doit être sentie sous peine de n'exister pas. Il faut donc rattacher comme moteur à la réflexivité le groupe entier des sensations, soit internes, soit externes, qui résultent d'un rapport entre les propriétés de la substance vivante et les actions de milieu. D'autre part, le mouvement consécutif échappe rarement à la conscience, car l'être qui l'exécute en est averti par les résistances qu'il rencontre et par l'effort qu'il est obligé de faire pour les surmonter, double cause de sensations tactiles et musculaires. Sans doute, dans beaucoup de cas, lorsque les impressions sont faibles ou continues, comme lorsque le cœur bat, le poumon se dilate, l'estomac digère ou le

1. Willis, exposant la doctrine cartésienne sur les esprits animaux, dit qu'ils se répercutent « *sicut undulatione reflexa* » (*De anima brutorum*, 1672, et « *motus est reflexus* »... (*De metu musculari*, 1682, p. 28).

sang circule, on ne sait pas trop ce qui se passe; on sent néanmoins qu'il se passe quelque chose, et les faits de cet ordre paraissent clairs quand on les compare au travail tout à fait inaperçu de la nutrition interstitielle ou de la croissance. Il n'y a donc dans la réflexivité qu'une inconscience relative. Si la détermination de l'acte lui échappe, elle a connaissance de la sensation qui précède et du mouvement qui suit. La conscience tient les deux bouts de la chaîne; le milieu seul est hors de sa prise.

On pourrait même signaler dans certains actes réflexes une part d'initiative et comme un germe de volonté. L'« *appétition*», en effet, étroitement liée à l'ordre des sensations, montre la force nerveuse dans une sorte d'équilibre instable, à l'état de tension, aspirant à l'acte et prête à l'exécuter. Le besoin, tendance organique sentie, naît de la condition du sujet et devient cause d'action, comme on le voit par les mouvements que provoquent la faim, la souffrance, des « *nécessités*» quelconques.

Ainsi réduite à la conscience d'impressions subies et aux stimulations de l'appétit, l'action réflexe semble tenir de l'automatisme plus encore que de la véritable autonomie. Le phénomène s'accomplit dans une sorte de pénombre, sur la frontière indécise où le conscient se confond avec l'inconscient. Intermédiaire entre les fonctions organiques et les véritables fonctions psychiques, il sert à faire comprendre comment, des unes aux autres, une transition a pu s'effectuer.

On aurait à distinguer deux sortes d'actions réflexes dont la complexité varie avec celle des centres, suivant qu'ils consistent en ganglions isolés ou en ganglions unis.

a. — Les actes réflexes les plus simples se produisent dans des centres élémentaires qui peuvent se réduire à une cellule unique, tels qu'on en trouve chez les animaux les plus imparfaits et dans les tissus des animaux supé-

rieurs. Ainsi, les mouvements des intestins, du cœur¹, des artères, etc., sont dus à des cellules nerveuses éparses dans leurs parois. Des ganglions autonomes président soit à l'activité totale des organismes inférieurs, soit, chez l'homme même, au fonctionnement d'organes particuliers. Les êtres réduits à un ganglion unique vivent à la manière de nos organes internes et sans plus de lucidité.

Des actions réflexes déjà moins bornées se dégagent de systèmes de ganglions connexes, analogues aux chaînes des articulés et au grand sympathique des vertébrés. Dans un appareil ainsi disposé, des corrélations s'établissent entre les centres. Leurs activités coordonnées régissent les mouvements collectifs des viscères, et déterminent une foule de phénomènes obscurs de la vie végétative. Chaque anneau d'un articulé (« zoonite ») a sa conscience propre et, même détaché, sent; mais il participe aussi à des sensations communes puisqu'il est impressionné quand d'autres le sont. Il suffit, chez une sangsue, de serrer ou de relâcher un nœud coulant pour isoler un ganglion ou le rendre à ses relations normales, c'est-à-dire pour voir la conscience totale disparaître ou reparaître.

b. — Des actes réflexes composés résultent, pour les êtres qui possèdent un système cérébro-spinal, de solidarités plus étendues et plus intimes.

La moelle épinière, où des séries de ganglions étroitement unis forment un cordon continu, est un organe d'innervation qui, quoique inconscient, a son éducation et sa mémoire. On admet dans les cellules centrales une sorte d'intelligence coordonnatrice des mouvements (Cl. Bernard, *Physiologie générale*, p. 53). Carpenter qualifie d'« excito-motrices » les réflexivités qui s'y produisent.

1. L'indépendance relative et l'autonomie de ces centres ressortent du fait que le cœur d'une grenouille, arraché et mis à l'abri des germes putréfacteurs, continue de battre pendant plusieurs semaines.

La moelle allongée reçoit, outre les impressions que lui transmet le cordon spinal, celles qui viennent des viscères et des organes des sens. C'est un carrefour où tout passe et qui règle les fonctions de déglutition, de respiration, de circulation, les mouvements des membres, etc. Les cellules de la région bulbaire, qui président aux actes les plus essentiels de la vie organique et doivent conséquemment agir sans relâche, constituent le « nœud vital » dont la lésion entraîne mort immédiate.

Enfin, le cerveau est un centre de réflexivités complexes parmi lesquelles Carpenter distingue : 1° les réflexivités « sensori-motrices » dont le siège est dans les corps striés et les couches optiques ; et 2° les réflexivités « idéo-motrices », qui se produisent dans les couches corticales du cerveau et du cervelet. Par elles, les idées sont converties en causes de mouvement, comme dans les larmes, le rire, la rougeur, la pâleur et mieux encore dans le rêve, le somnambulisme, etc. Les actions réflexes du cerveau collaborent activement à la production des idées et à la genèse de la volonté. Des effets de ce genre peuvent seuls expliquer la formation et l'enchaînement des idées dans le rêve ou la rêverie, et rendre compte de la spontanéité des plus hautes conceptions de l'esprit. Là est la source des inspirations du génie. Ces illuminations soudaines ont pour cause un acte de cérébration sourde ou, comme dit Schopenhauer, de « rumination inconsciente », qui amène brusquement au plein jour de l'intelligence la conclusion à long terme d'un travail obscurément accompli dans les profondeurs des centres nerveux. La préparation cachée se dérobe et le résultat final apparaît comme suggéré du dehors. — On peut encore rattacher au mécanisme de la réflexivité la puissance de l'habitude qui est un effet involontaire de répétition, et l'esprit d'imitation qu'on a défini « un écho psychique ».

La réflexivité constitue donc le moteur initial de l'activité

psychique. Elle régit seule les animaux inférieurs et prédomine encore chez les êtres supérieurs. « Ce genre de mouvement, dit Cl. Bernard, est le plus commun dans l'organisme vivant : tous les phénomènes de la vie de nutrition s'accomplissent sous son influence... Les actions réflexes président à la vie organique, et l'on peut dire que bien des fonctions ne sont qu'une suite de mouvements réflexes régulièrement enchaînés. » Ainsi s'exécutent avec précision une foule de services que la réflexion n'aurait pu prendre à sa charge sans péril pour eux et sans asservissement pour elle. Ici même, la cécité de l'agent le sert dans cette humble tâche, en lui évitant les oublis, les distractions et les méprises qui auraient compromis sans cesse un ordre aussi nécessaire où il était surtout besoin d'exactitude et de régularité.

B. — De l'instinct.

Par le mot d' « instinct » (de *instinguere*, exciter; comparez le grec *ἐν στήθει*, piquer, stimuler intérieurement) on désigne « un mode d'activité cérébrale ou penchant intérieur qui porte à exécuter un acte sans avoir notion de son but, à employer des moyens toujours les mêmes, sans chercher à en créer d'autres et à reconnaître les rapports entre eux et le but » (*Dictionnaire de Nysten*, revu par Littré et Robin). H. Spencer donne de l'instinct une définition plus brève et plus claire quand il l'appelle « une action réflexe composée » (*Principes de psychologie*, IV^e partie, ch. 5). L'instinct dérive en effet de la réflexivité; toutefois il en diffère par une complication plus grande comme par un moins bas degré de connaissance et d'autonomie. Il a conscience des actes qu'il accomplit, mais non encore de leur but, et conséquemment n'est pas libre de choisir sa voie. L'ignorance de sa fin et l'incapacité de concerter ses moyens d'exécution doivent donc le faire

ranger parmi les modes irréfléchis de l'activité psychique.

L'acte réflexe transforme d'une manière directe des impressions en mouvements. Moins machinal et moins simple, l'acte instinctif coordonne diverses causes d'excitation qui, après un circuit et des entre-croisements d'influences, motivent le mouvement. En général, il combine une stimulation interne, relative à quelque besoin senti, et une stimulation externe, provoquée par un objet capable de le satisfaire. Cette adaptation de deux causes distinctes de mouvement ne pouvait pas s'effectuer sans une part de clairvoyance et d'initiative. La conscience de l'acte, inutile à la réflexivité dont le fonctionnement est invariable, devenait ici condition déterminante, parce que l'être ne pouvait pas exécuter sans le savoir un acte occasionnel et de circonstance. Mais l'instinct n'exigeait rien de plus, et la notion du but éloigné, dont il n'a que faire, lui est refusée. Il ne saisit rien au delà du fait immédiat, de la fin prochaine. Son rôle se réduit donc à lier deux actions réflexes séparées. Par exemple, un animal que presse la faim est mis en mouvement par un jeu de réflexivités organiques. Si, dans cette agitation inquiète, il vient à sentir ou à voir des substances aptes à lui servir d'aliments, l'instinct s'éveille aussitôt et lui suggère l'envie de s'en repaître.

Prenons l'acte le plus manifestement instinctif de l'activité humaine à son début, le mouvement de succion par lequel l'enfant tette : le mécanisme de cette fonction, où trente paires de muscles doivent agir dans un ordre déterminé, se trouve disposé d'avance à la remplir, grâce aux mouvements combinés des lèvres, de la langue et du pharynx, opérés à chaque réfection par une suite innombrable d'ascendants. Comme le nouveau-né hérite de leurs aptitudes acquises, il effectue d'instinct un mouvement analogue sous la double influence de la faim qui le stimule et du contact du sein qui sollicite ses lèvres. L'accord de

ces deux causes est indispensable, car si l'une ou l'autre faisait défaut, l'acte n'aurait pas de raison d'être.

Une préordination de ce genre suppose un centre nerveux assez complexe pour pouvoir combiner des excitations différentes. Elle implique la formation d'un ganglion majeur constituant une ébauche de cerveau. La faune inférieure, réduite à des ganglions isolés ou faiblement unis, est bornée à des réflexivités. Mais l'instinct dut apparaître avec un centre recteur. Par suite du développement de l'appareil nerveux, un ganglion spécial acquit la prédominance, sa supériorité tenant à ce qu'il recevait les informations des sens et principalement de la vue dont la longue portée lui assurait la direction de l'ensemble. On voit par les métamorphoses des insectes comment la genèse des instincts se rattache aux modifications du système nerveux, car les ganglions, épars chez la larve, réduite à des fonctions nutritives, se soudent et s'unissent en une sorte de cerveau chez l'insecte parfait, appelé à une vie plus active. Quand on compare diverses espèces, le progrès même des instincts paraît en rapport avec celui du ganglion cérébroïde, car le cerveau de l'abeille est, en proportion de son poids, trois fois plus volumineux que celui du hanneton, et celui de la fourmi, plus remarquable encore, rappelle par sa surface mamelonnée les circonvolutions des vertébrés.

Des effets dont la réflexivité n'est pas capable, la conscience de l'acte, la mémoire et le désir, devaient être la conséquence de l'instinct. Dans l'acte réflexe, l'être ne se connaît pas comme agent ; c'est un mécanisme qui fonctionne sans bruit, dans les ténèbres. L'acte instinctif, combinant des causes distinctes d'excitation, s'élève à la conscience lucide par suite même de leur opposition et de leur accord. Le moi prend connaissance du rôle dont il s'acquitte et des réflexivités inconscientes, deviennent conscientes en s'associant, comme de faibles rayons de lumière, concentrés au foyer d'une lentille, y brillent d'un vif éclat.

La clairvoyance qui accompagne l'instinct laisse dans l'organe cérébral des traces durables sous forme de souvenirs. La mémoire est une disposition fonctionnelle à reproduire les impressions subies, une forme atténuée et persistante de la perception. Elle rend la conscience continue, ou plutôt elle est la conscience même, car elle relie les faits successifs et donne à l'être le sentiment de son identité. Cette aptitude à retenir des impressions se spécialise ensuite, devient faculté particulière et joue un rôle essentiel dans le développement soit des idées, soit des instincts. On a pu définir la mémoire « un instinct naissant » et l'instinct « une mémoire organique » (H. Spencer, *Principes de psychologie*). Deux sortes d'effets résultent du pouvoir que possède l'être animé d'emmagasiner les résultats de son activité passée : dans l'individu, les actes, en se répétant, se changent en habitudes ; dans l'espèce, les habitudes deviennent des penchants héréditaires. Le système nerveux se modifie par l'empreinte qu'il garde de ses opérations antérieures, et les actes sont d'une exécution d'autant plus aisée qu'ils ont été plus fréquemment accomplis. De là, l'empire de la coutume, qu'Aristote appelle « une seconde nature » (*ὡσπερ ἡ φύσις ἕθους*, *De la mémoire*, ch. 2), mais qui, selon la remarque de Pascal, pourrait bien être la première ¹, puisque les aptitudes natives ont nécessairement pour origine des habitudes acquises. L'hérédité est à l'espèce ce que la mémoire est aux individus. Nous voyons par l'exemple des animaux domestiques que les descendants arrivent assez vite à faire par instinct ce que les parents ont appris par assuétude et par contrainte. L'instinct a donc pour cause une répétition d'actes durant une suite de générations. Dominé par l'influence d'un long passé dont les tendances, fixées dans le type à titre de caractère spécifique, se retrouvent en lui

1. « La nature pourrait bien n'être qu'une première coutume comme la coutume est une seconde nature. » (*Pensées*, édit. Havet, t. I, p. 42.)

par le fait de sa constitution nerveuse, l'être a une prédisposition innée à exécuter certains actes et y cède quand les circonstances le sollicitent, sans que la réflexion interviene, comme marche une horloge toute montée lorsqu'on donne l'impulsion au balancier.

Cependant l'acte que l'instinct suggère n'est pas entièrement passif. L'agent y prend part et son initiative révèle un pouvoir nouveau. La réflexivité n'est active que dans la mesure bien restreinte où se produisent les stimulations de l'appétit; l'instinct, plus précis, manifeste des désirs formels. Mû par des impressions contraires, l'être tend à se placer ou à se maintenir dans celles qui sont agréables et à éviter les pénibles. Le désir, déjà bien supérieur à l'appétition en ce qu'il a de plus la conscience (Spinoza le définit « un appétit conscient », *Ethique, des passions*), n'est pas encore la volonté, car la volonté suppose la connaissance du but, et, cette connaissance, l'instinct ne l'a pas; mais il est le germe de la volonté. De même que l'appétit oscille entre les tendances opposées de la propension et de la répulsion, le désir se manifeste sous les deux formes de l'attrait et de l'aversion, de l'amour et de la haine. Nous croyons qu'il faut rattacher à la théorie des instincts le vaste ensemble des affections de la sensibilité qui se rangent sous ce double chef. Les « passions », « passives » de leur nature (*passio*, de *pati*), ne relèvent en effet ni de l'intelligence qui souvent a peine à les comprendre, ni de la raison presque toujours impuissante à les gouverner. Elles dérivent de l'instinct, naissent comme lui spontanément et s'imposent tyranniquement. Nos humeurs, nos goûts, nos penchants, sont des instincts ébauchés par quelques-uns de nos innombrables ancêtres, principes d'action que l'hérédité transmet et que les circonstances développent. La part de réflexion qui, chez l'homme, se mêle aux passions, moins pour les dominer que pour les servir, fait quelquefois illusion; mais, par leur origine inconsciente, leur indocilité naturelle et leurs

tendances les plus ordinaires, ce sont de véritables instincts.

Une classification des instincts devrait en distinguer de deux sortes : les uns égoïstes, à tendances centripètes; les autres altruistes, à tendances centrifuges.

a. — Les instincts les plus simples visent à la conservation de l'individu et sont en relation directe avec les besoins de la nutrition. Le plus profond, le plus indestructible de tous, est l'instinct de conservation ou désir de l'être (ὁ πόθος τοῦ εἶναι d'Épicure). On y rattache les instincts nutritifs, domiciliaire, défensif, etc. Ils sont représentés chez l'homme par une multitude de passions où prévalent les penchants animaux (gourmandise, ivrognerie...). De l'égoïsme dérivent l'amour-propre, l'ambition, la cupidité, etc.

b. — Une seconde classe d'instincts, moins étroitement asservie aux nécessités de l'organisme, détermine les actes de la vie de relation. Leur nature est plutôt affective. Ce groupe comprend l'amour sexuel, les sentiments de la famille, les instincts incubateur, éducateur, puis, par une extension graduelle, l'instinct social, le patriotisme, la philanthropie, etc.

On voit l'importance des instincts dans la théorie psychique. Leur développement s'est opéré de concert avec celui des types de structure. Les embranchements inférieurs de la série animale, réduits à des actions réflexes, ne s'élèvent pas jusqu'à l'instinct ou du moins n'en révèlent que des rudiments confus. Des impulsions instinctives nettes et variées apparaissent avec un système nerveux moins imparfait que caractérisent des organes de sensation et un ganglion majeur. Elles gouvernent surtout les innombrables tribus des insectes et sont, dans ce groupe, étonnantes de précision et de diversité. Les mœurs des

abeilles, des guêpes et des fourmis montrent jusqu'à quelle hauteur, voisine de l'intelligence, l'instinct a pu parvenir. Son influence est remarquable encore dans certaines classes de vertébrés (poissons, reptiles et oiseaux). Chez les mammifères, l'intelligence, et, chez l'homme, la raison, troublent de plus en plus le fonctionnement de l'instinct, mais sans le supprimer, comme on le prétend parfois, et il suffit de lui rattacher les passions à titre d'instincts erratiques, pour faire concevoir toute l'étendue de sa puissance.

Tels sont les deux modes irréfléchis de l'activité psychique. Inégalement limités en clairvoyance et en initiative, l'acte réflexe et l'instinct ont, l'un la conscience des états de l'organisme et de vagues appétitions, l'autre la conscience des actes et le désir de les exécuter. Le premier agit sans le savoir; le second sait qu'il agit, mais non pourquoi il agit et marche en aveugle vers une fin qu'il ignore. Dans les deux cas, c'est encore l'automatisme psychique qui domine. Le système de Descartes sur l'animal-machine, manifestement faux en ce qui concerne les espèces intelligentes, serait admissible (réserve faite de la sensibilité) pour les espèces inférieures que meuvent exclusivement l'action réflexe et l'instinct. Le mécanisme de la réflexivité est en effet tout organique et les propriétés des tissus actifs sont seules en jeu. Dans les faits d'instinct, c'est moins l'individu qui agit que l'espèce. Guvier compare l'état mental des êtres que l'instinct gouverne à celui des somnambules, et Lamarck refuse la volonté aux invertébrés en général. Ainsi l'activité irréfléchie, simple résultante du système nerveux répondant à des excitations déterminées, met les organismes en mouvement et leur procure des conditions de vie soit physiologique, soit affective. Cela suffit aux besoins les plus pressants. « En attendant que la philosophie sache régir le système du

monde, le mécanisme du monde se maintient par la faim et par l'amour. » (Schiller.)

2. — ACTES PSYCHIQUES RÉFLÉCHIS

Les actes accomplis avec réflexion constituent un mode supérieur d'activité où l'être, prenant possession de lui-même, connaît son but, concerte ses moyens d'exécution, délibère, se résout et veut. Il n'est plus mù directement par les excitations du dehors, mais paraît posséder une autonomie réelle et trouver en lui des « facultés » ou réserves de puissance qui règlent en partie sa conduite. De là résulte pour les individus et pour leurs séries une capacité presque illimitée de développements psychiques. Il convient de distinguer deux sortes d'actes réfléchis qui, sous les noms d'intelligence et de raison, correspondent à deux degrés de clairvoyance et d'initiative.

A. — De l'intelligence.

L'« intelligence » (de *inter legere*, choisir entre, ou, suivant une forme adoucie, *intellect*) est la faculté de discerner et de choisir. Si l'instinct a conscience de ses actes, il n'a pas la connaissance de leur but ni, conséquemment, l'option des moyens. Les finalités échappent à sa courte vue. Il est comme une montre dont chaque rouage saurait qu'il marche, mais ignorerait qu'il sert à marquer les heures. Moins bornée, l'intelligence connaît son but et choisit sa voie. Au lieu de se réduire, comme l'instinct, à un acte unique et de tendre invariablement à son exécution, elle embrasse des groupes d'actes éventuels, les compare, cherche le plus avantageux, combine des expédients et se plie aux occurrences diverses, apte à toutes les utiliser selon l'occasion et le besoin.

Ce mode d'action a dû procéder de l'instinct par une complication graduelle. A mesure, en effet, que les impulsions instinctives se multipliaient, elles perdaient ce qu'à l'origine elles avaient d'irrésistible et de fatal. Lorsque plusieurs instincts réclament en même temps, ils s'affaiblissent l'un l'autre, partagent le désir, se neutralisent par l'antagonisme de leurs tendances et condamnent l'être, sollicité en divers sens, à des hésitations dont il ne peut sortir que par un choix motivé. Il suffisait donc d'introduire une certaine variété parmi les instincts et de les mettre en conflit pour se rapprocher de l'intelligence et finir par en passer la frontière. A partir du point où, les mobiles se faisant équilibre, l'option devenait facultative, l'intelligence surgit. Comme on a défini l'instinct « une action réflexe composée », nous définirons l'intelligence « une coordination d'instincts ». Elle fait concourir à une fin commune des séries d'actes subordonnés les uns aux autres.

Par l'avènement de l'intelligence, un grand progrès de lucidité psychique a été réalisé. L'être qui agit par instinct, ignorant la fin de ses actes, n'en voit ni les causes ni les conséquences; l'être intelligent, au contraire, a besoin de les connaître et s'applique à les discerner afin d'en tirer le meilleur parti. L'attention, qui examine et se rend compte, est un état supérieur de conscience résultant d'une direction unitaire imposée à l'activité cérébrale.

Avec l'intelligence et la faculté d'option, l'agent dispose d'une part d'initiative qui se traduit en volitions. Les animaux que l'instinct domine ont moins des volontés que des désirs, et comme les corps pesants qui roulent sur une pente, ils cèdent aux « penchants » qui les entraînent. Mais l'animal intelligent réfléchit, pèse les motifs d'agir, se décide en connaissance de cause et veut ensuite résolument. Sans doute, ce n'est point encore là une autonomie véritable; l'agent volontaire suit toujours la loi des mobiles, l'impulsion du plus fort désir. « Nous appelons

agents libres ceux qui agissent avec délibération ; mais la délibération n'exclut pas la nécessité, car le choix est nécessaire tout comme la délibération. » (Hobbes.) Néanmoins si la volonté a sa racine dans le désir, elle diffère de lui par sa clairvoyance, elle est un désir motivé qui connaît son but et choisit sa voie. Son adhésion éclairée fait sien le mobile qu'elle adopte et porte là où elle s'attache tout le pouvoir dont l'être dispose. Au rebours de l'instinct qui caractérise l'espèce, l'intelligence est personnelle et ses développements appartiennent en propre à l'individu.

Ainsi doué de clairvoyance et de volonté, l'être a une latitude plus grande d'action. L'instinct, bornant sa tâche à établir une relation directe entre des besoins et des satisfactions également fixes, est circonscrit dans ses applications. L'intelligence, au contraire, se déploie dans un champ où rien ne limite son activité, car, pour elle, tout peut être but ou moyen. Le premier accomplit à merveille un acte déterminé. Pour aller où l'appelle le désir, il prend le chemin le plus court ; mais il n'en connaît pas d'autre et le moindre obstacle l'arrête. La seconde tente diverses voies, suit au besoin les plus longues et met à profit les facilités que chaque occurrence présente. Ne se trouvant jamais à court ni à bout de ressources, elle réussit là où l'instinct échouerait. Habile à varier ses combinaisons suivant les conjonctures, elle arrive par adresse à des triomphes calculés.

Toutefois, si l'intelligence a l'avantage de l'option, elle en a aussi le péril. Sa sûreté est loin d'égaliser celle de l'instinct, qui tire de l'uniformité même de ses tendances sa garantie de succès, parce que cette uniformité résulte d'une accumulation d'expériences qui toutes ont réussi. En vertu de sa direction préordonnée, l'instinct agit avec une infaillibilité qu'on admire. L'intelligence, obligée de courir des chances, de spéculer sur l'incertain et de prévoir des éventualités, hésite, se trouble et souvent se

trompe. Partagée entre des mobiles différents, tenue de résoudre chaque fois un problème spécial, elle ne discerne pas toujours le mieux, le cherche où il n'est pas, et sa prudence, démentie par la fortune, est exposée à rencontrer une déception au terme des conjectures les mieux fondées. Comme la variabilité de ses applications la met sans cesse aux prises avec des difficultés nouvelles, elle se trouve condamnée à d'incessantes erreurs.

Néanmoins, le mal, si grand qu'il soit, n'est pas sans remède. L'intelligence, instruite par ses erreurs mêmes, tire parti de ses fautes pour s'en corriger. Tandis que l'instinct se montre peu muable, rebelle à toute contrainte, parce que rien ne le détourne de son but, l'intelligence, docile aux leçons de l'expérience et susceptible d'apprendre, se modifie par sa propre activité. Elle est à elle-même son maître (*ἑαυτοδιδάκτορ*, suivant l'expression de Socrate). En d'autres termes, les êtres intelligents sont seuls éducatibles. C'est là une caractéristique certaine pour éviter de confondre, comme on le fait si souvent, l'intelligence et l'instinct. Malgré leurs étonnants travaux, ni l'abeille, ni la fourmi ne doivent être dites intelligentes; elles ont seulement des instincts très développés. Leur éducatibilité est nulle. Quoique l'homme, depuis plusieurs milliers d'années, donne des soins à diverses sortes d'insectes, il n'a pas réussi à changer leurs mœurs ni même à se faire reconnaître par eux. Les vertébrés, au contraire, même ceux que nous qualifions dédaigneusement de « brutes », sont intelligents : on peut les élever et les instruire. Un éléphant capturé à la chasse, un oiseau dérobé jeune à son nid, se laissent priver et dresser. Leur nature psychique se transforme à notre contact. Nés sauvages et farouches, ils deviennent familiers et domestiques. Nous les façonnons à notre gré sous l'influence d'une éducation à la fois individuelle et héréditaire. L'instinct et l'intelligence diffèrent donc par ce trait essentiel : pour changer l'un, il faut défaire l'organisme et refondre le type; pour

modifier l'autre, il suffit d'instruire l'être, c'est-à-dire de l'amener, par séduction ou par contrainte, à répéter certains actes auxquels sa volonté se plie et qui, devenus habituels, constituent des tendances. Il en transmet ensuite quelque chose à ses descendants, non plus sous forme d'impulsion particulière pour un acte déterminé, mais comme aptitude générale à combiner des moyens en vue d'une fin.

Le progrès qui, dans la série animale, fit naître l'intelligence de l'instinct, dut se lier à un développement du système cérébro-spinal. On pourrait, par la distinction des vertébrés et des invertébrés, marquer une limite sommaire entre les animaux intelligents et ceux qui ne le sont pas. Les plus parfaits des invertébrés, les insectes, sont, en effet, réduits à une chaîne de ganglions, et ce que, chez eux, on appelle abusivement le cerveau, n'est qu'un ganglion majeur. Seuls les vertébrés possèdent un cordon spinal et un cerveau organisé. L'activité continue de ce centre où tout aboutit devait entraîner son hypertrophie graduelle, l'adapter à des fonctions toujours plus complexes et spiritualiser le système. Il est à croire que l'intelligence résulta de la formation dans un même organe de trois parties distinctes et cependant solidaires : le cerveau moyen, consacré à la coordination des sensations ; le cerveau antérieur, à celle des idées ; et le cerveau postérieur, à celle des mouvements. La simultanéité de ces trois fonctions dans un centre commun rendait inévitable la coordination des sensations, des idées et des mouvements qui caractérise l'intelligence et que la réflexion seule était capable d'opérer. Chargé de recueillir les impressions de l'organisme, le cerveau les perçoit, les élabore, les digère pour ainsi dire et semble, selon l'image célèbre de Cabanis, « sécréter la pensée et la volonté » (*Rapports du physique et du moral*, 2^e mémoire, § 7). Il faut voir en lui, dit Cl. Bernard, « non pas le siège ou le *substratum* de l'âme, mais l'organe même de la pensée » (*Des fonctions*

du cerveau). La mythologie grecque exprimait allégoriquement la même vérité quand elle faisait naître Minerve (la pensée active) du cerveau de Jupiter.

L'intelligence, développée par l'éducation dans l'individu, transmise à titre d'aptitude dans l'espèce, modifiée incessamment par l'exercice, aussi changeante que l'instinct est fixe, offre un sujet d'étude d'une importance et d'un intérêt extrêmes. Quoique de tout temps les philosophes se soient complu à spéculer sur les facultés intellectuelles, ils n'ont point établi une théorie satisfaisante de cette classe d'actions. D'ordinaire, ils se bornent à distinguer des facultés de compréhension (mémoire, jugement) et des facultés d'exécution (délibération, résolution, énergie, persévérance). Mais cette analyse concerne plutôt le mécanisme abstrait de l'intelligence que son mode effectif d'action. Il y aurait à distinguer en elle deux degrés de complexité.

a. — Une intelligence inférieure et voisine encore de l'instinct s'applique à diriger, au mieux des intérêts de l'individu, les séries généralement bornées d'actes qui tendent à la satisfaction de ses besoins les plus pressants (quête d'aliments, construction d'abris, moyens d'attaque ou de défense). Elle ne comporte que des combinaisons assez restreintes.

b. — Le champ de l'activité intellectuelle s'agrandit à mesure que, poursuivant des fins moins directement personnelles, elle pourvoit aux exigences de la vie sociale (rapprochement des sexes, soins donnés à la progéniture, tâches accomplies en commun, etc.). L'étendue et la variété de ces actes la forcent alors à devenir ingénieuse, sagace, capable de suite et de concert.

La supériorité de l'intelligence consiste donc à utiliser

une multitude d'occurrences qui échappent aux lois de la réflexivité, parce qu'elles sont complexes, et à celles de l'instinct, parce qu'elles sont variables. L'être s'accommode ainsi plus complètement aux conditions de son milieu, en exploite mieux les ressources. Dans la série animale, les développements de l'intelligence sont parallèles à ceux de l'organisation et, nuls ou incertains parmi les invertébrés, acquièrent chez les vertébrés une importance décisive. Les classes inférieures (poissons, amphibiens et reptiles) sont encore assez mal douées à cet égard et l'instinct prédomine en elles. Mais l'intelligence apparaît plus clairement avec l'éducabilité chez les oiseaux, par suite de l'extension que prend chez eux l'instinct familial. Enfin, elle réalise ses plus notables progrès dans la classe des mammifères. Frédéric Cuvier (*Histoire naturelle des mammifères*) classe comme il suit leurs ordres, au point de vue des aptitudes intellectuelles en rapport avec le genre de vie : les rongeurs, les ruminants, les pachydermes, les carnassiers et les quadrumanes. L'homme possède une incontestable prééminence, sans toutefois être séparé des genres voisins par une supériorité qui le mette hors de classe, car, privé de la raison, il ne serait que la plus intelligente des brutes.

B. — De la raison.

La raison, glorieux privilège de l'homme, le range au-dessus de tout le monde animal. Indiquons en quoi ce mode d'activité psychique diffère des précédents et comment néanmoins il se rattache à leur ordre.

Nous définissons la « raison » (*ratio*, de *ratus*, réglé, qui se lie au sanscrit *rita*, vrai) le pouvoir de reconnaître et de suivre des lois conformes à un plan d'ensemble. Si l'intelligence a la notion de ses buts par séries, elle n'a pas celle de la concordance de ces séries, et ne s'élève pas jusqu'à la

conception d'une fin vers laquelle tout converge. Elle a donc, comme l'instinct, son aveuglement partiel, et agit sous des lois qu'elle ignore. En fait, nous la voyons, chez les animaux supérieurs, uniquement occupée à procurer des satisfactions physiologiques ou affectives. C'est une puissance asservie aux besoins de l'organisme. Se repaître et se reproduire, chercher le bien-être, éviter la douleur, céder aux instincts sociaux, voilà la tâche où s'épuise l'activité des espèces les mieux douées. Mais, tandis que l'intelligence réalise un ordre dont les convenances lui échappent et la dominant à son insu, la raison connaît cet ordre, l'approuve et semble l'instituer en le formulant. Sa fonction consiste à systématiser toutes les fins, à les ramener à une fin unique et à dégager l'idée de loi. La première ne voit que le détail; elle n'a pas la notion de règle, de devoir, de but universel. Les animaux les plus intelligents, l'homme lui-même, quand sa raison n'est pas formée ou quand elle l'abandonne, concluent du particulier au particulier et rapportent tout à l'intérêt du moment. La seconde cherche le général et l'immuable à travers l'accidentel et le transitoire, fait concorder les finalités divergentes et conçoit un plan d'activité dont toutes les parties se tiennent et s'harmonisent¹.

Par là s'accomplit un double progrès de clairvoyance et d'autonomie. L'homme arrive par la réflexion au plus haut degré de lucidité psychique. Ce pouvoir qui appartient à l'esprit, d'embrasser, en se repliant sur lui-même, l'ensemble des causes et de leurs effets, n'a pas seulement pour résultat de rendre plus nette, par une concentration de clartés, la conscience des actes; avec la notion de loi et d'obligation l'agent acquiert une sorte de conscience impersonnelle « la conscience » ou « sens moral » qui lui apprend à distinguer le bien du mal et devient le principe

1. « Unum hoc animal sentit quid sit ordo; quid sit quod deceat; in actis dictisque modus. » (Cicéron, *De officiis*, I, 4.)

de toute moralité. Le contentement de la conscience s'explique par la conformité de l'acte à la loi reconnue; le remords, qui suit l'infraction, est le sentiment pénible d'une déchéance, l'humiliation d'un pouvoir recteur qui, dans la conduite de la vie, a sacrifié le mobile supérieur à l'inférieur, la règle à l'accident, le devoir à l'intérêt. Ainsi la pure lumière de la conscience dissipe, là où elle brille, toutes les obscurités. L'intelligence n'éclaire que dans un petit rayon autour d'elle, comme un flambeau qu'on porte à la main dans les ténèbres; la raison, comme le soleil, illumine tout et fait le grand jour.

Avec une activité raisonnée, l'autonomie et la liberté semblent apparaître dans le monde. L'homme, adhérant à des règles qu'il approuve et n'obéissant qu'à des lois consenties, n'a plus seulement le choix des moyens : il paraît avoir le choix même de ses buts. Il trouve en lui sa fin, sa raison d'agir. Il devient force (« *mens hominis vis* », Lucrèce) ou, pour parler comme Pascal, s'élève à « la dignité de la causalité ». Toutefois, ici encore, nous devons nous garder d'une illusion trop fréquente, la croyance à une liberté ne relevant que d'elle-même, c'est-à-dire capable de créer *ex nihilo*. Nous gravissons les degrés du déterminisme sans pouvoir sortir du déterminisme lui-même. Notre initiative n'a point le pouvoir surnaturel que Kant lui attribue d'« introduire dans la suite des choses humaines un commencement absolu », car ce prétendu commencement est une fin, la résultante lointaine d'un concours d'actions. Si l'on admet le principe de la conservation de la force, on ne saurait concevoir qu'il dépende de la volonté humaine d'accroître ou de diminuer la quantité de mouvement dans l'univers, et l'on ne peut plus lui reconnaître qu'une puissance secondaire de direction ou d'opportunité. Il faudrait établir, en « Psychologie rationnelle », le principe fondamental de la Mécanique rationnelle, celui d'inertie, qui dérive du principe général de la constance des lois naturelles et doit faire exclure de

leur ordre toute spontanéité d'agents étrangers. Comme la volonté n'est que l'acquiescement nécessaire au plus fort désir, la liberté est l'acquiescement obligatoire à une loi reconnue juste par la raison; mais nous n'avons ni la liberté de vouloir¹, ni le moyen de changer des lois qui s'imposent. Quand l'homme pense se déterminer librement, c'est qu'il ignore les causes qui le contraignent. « Se croire libre, dit Spinoza, c'est rêver les yeux ouverts. » Leibniz qualifie l'âme d' « automate spirituel », voulant indiquer par là que son activité reste soumise, comme celle des organes, à la loi stricte des causes. Pour employer la forte expression de Malebranche, l'homme n'agit pas, « il est agi ». Néanmoins, tant que la raison n'abdique pas, elle jouit d'une liberté relative, car, justifiant ses décisions, elle se règle elle-même dans les limites de la loi : « *sub lege libertas* ». Sa liberté résulte du nombre des motifs d'agir et de la latitude dont l'option dispose. Nous sommes libres dans la mesure où nous avons conscience de l'être. Notre indépendance est une variable qui peut aller de zéro à l'infini sans être jamais nulle ou absolue.

La raison, qui généralise ses fins, devait avoir des applications plus étendues que l'intelligence qui particularise les siennes. Tandis que, chez les animaux, les facultés intellectuelles, esclaves des besoins de l'organisme, ne s'exercent que pour les servir et, ces nécessités satisfaites, tombent dans l'inaction, les facultés rationnelles, assujetties aux mêmes exigences, arrivent plus vite à les combler, mais, cette tâche accomplie, ne connaissent pas le repos. Un besoin toujours inassouvi d'activité les tourmente. Suivant alors ses propres tendances, la raison se sert des organes pour son développement. Les animaux, dont les nécessités sont fixes, se contentent d'un mini-

1. « Nostre volonté... demande Montaigne, veult-elle tousiours ce que nous voudrions qu'elle voulsit? » (*Essais*, liv. I, ch. 20.)

mum de satisfactions indispensables; l'homme, dont les aspirations sont indéfinies, prétend à un maximum idéal. Outre le nécessaire, il lui faut beaucoup de superflu. Le désir insatiable du mieux l'aiguillonne. Dès que les mobiles d'action se convertissent en lois, tout se transforme : les artifices utiles deviennent industrie progressive; la passion bornée, poursuite d'une félicité sans bornes; la faculté d'imaginer, art; la curiosité de connaître, science; le pouvoir d'agir, moralité; le respect des droits, justice. Dirigé par la raison, l'homme soustrait une part croissante de son développement à la tyrannie des forces aveugles, aux hasards de leurs rencontres ou de leurs conflits. A l'ordre de la nature, qui est ce qu'il peut, il vise à substituer un ordre moins imparfait, qui serait ce qu'il doit être, plein d'harmonie et d'unité.

Comment a pu s'opérer le passage de l'intelligence à la raison? Leur différence est plutôt quantitative que qualitative, moins de nature que de degré. La raison, c'est l'intelligence agrandie, généralisant ses vues et formulant des règles qui régissent l'ensemble des cas particuliers. Le pouvoir de choisir, propre à la réflexion, devait, graduellement étendu, conduire à faire dépendre les mobiles les uns des autres par séries et à constituer des hiérarchies de finalités dont les termes supérieurs, dominant les inférieurs, aspirent à devenir lois. L'intelligence, en effet, se détermine par des motifs ou « raisons » qui se subordonnent dans l'ordre de leur généralité. Pour s'élever jusqu'à la raison, il suffisait donc que, rendue plus pénétrante, plus active, elle cherchât la règle sous les accidents et des principes fixes d'action à travers les contingences variables. La raison se caractérise par le don de généraliser et d'abstraire. Son signe extérieur est le langage. L'être humain parvient à cette condition d'esprit vers l'époque où il apprend à parler et commence à discipliner sa volonté. On le dit alors « raisonnable ».

La genèse de la raison dut coïncider avec une évolution

organique du cerveau, résultat du long exercice de l'intelligence. Par l'effet de sa croissance continue, l'encéphale devint un amas de plus en plus volumineux et de mieux en mieux organisé. Son développement s'opéra surtout dans les lobes antérieurs, centres de la production et de l'association des idées, qui prirent avec le temps la prépondérance sur les couches optiques et le cervelet, comme en témoigne l'ouverture de l'angle facial dans la série. Enfin, la surface des hémisphères, unie et lisse chez les mammifères inférieurs, s'est creusée de plis et dessine, principalement chez l'homme, des circonvolutions multipliées qui étendent la superficie des couches corticales de substance grise où s'accomplit la coordination des concepts. Le siège des plus hautes manifestations psychiques paraît être cette strate de cellules idéogènes formant par leurs anastomoses un inextricable lacis où les courants nerveux se propagent, se repercutent et font concorder toutes les données de la sensibilité. A de tels signes, on reconnaît que « l'homme est visiblement fait pour penser » (Pascal).

Le jeu d'un organe aussi complexe devait amener des spécialisations de fonctions et faire éclore des facultés nouvelles qui, chez l'être humain, entrent les dernières en action. Des centres de réflexivité, ceux par exemple qui provoquent les pulsations du cœur, sont constitués de très bonne heure et fonctionnent dès la phase fœtale. Quelques centres instinctifs sont appelés à s'exercer à partir de la naissance. Les centres intellectuels se développent ensuite. Les centres rationnels sont les plus tardifs de tous. Ainsi, la faculté du langage, localisée par Broca dans la troisième circonvolution de l'hémisphère gauche, dont la lésion produit les cas d'« aphasie », sans nuire d'ailleurs à l'intégrité de la pensée, a dû correspondre à une évolution de cette partie du cerveau¹ qui,

1. D'après Broca, le « sol » propre à la production du langage existait

chez les enfants, ne devient active qu'à l'époque où ils apprennent à parler. Toutefois, il faut encore un certain temps pour que la structure de l'organe soit fixée et la faculté définitivement acquise, car un enfant qui sait parler, mais cesse d'entendre, redevient muet, tandis que l'adulte, atteint de surdité, n'oublie plus sa langue. Le pouvoir même d'écrire paraît avoir exigé un progrès spécial du cerveau, comme le font supposer les cas d'« agraphie », distincts de ceux d'aphasie. On localise aussi la faculté scripturale dans le lobe gauche, mais sa place précise est encore indéterminée. On sait seulement qu'elle doit être voisine de la faculté orale, non seulement à cause de la relation étroite qui unit les deux fonctions, mais aussi parce que, dans certains cas d'aphasie incomplète, le malade est incapable d'écrire les mêmes catégories de mots ou de lettres qu'il a perdu le pouvoir de prononcer. Enfin, outre les cas d'aphasie et d'agraphie, on distingue celui d'« alexie » ou impuissance de lire. On a là un exemple de facultés spéciales, afférentes à une région du cerveau et manifestement acquises à une date récente.

La raison a des conditions d'exercice et de développement qui lui sont propres. L'éducation que se donne l'intelligence reste personnelle et varie d'un être à l'autre. Celle que reçoit la raison est collective et tend à se généraliser, car la faculté qui édicte et applique des lois est tenue d'être partout logique, toujours conséquente avec elle-même. Les esprits, reliés par des vérités communes, se pénètrent, s'accordent, et tous ensemble ne font qu'un, « l'esprit humain ». Ils échangent leurs idées, combinent leurs efforts, associent leurs gains et composent un fonds de civilisation, patrimoine de l'espèce entière. Ce sont comme des foyers de lumière qui, s'allu-

dans le cerveau des gorilles; mais il n'a pas été défriché par eux. L'homme seul a mis le sien en culture.

mant les uns aux autres sans rien perdre (*lumen e lumine*), propagent et confondent leurs clartés. Par suite, les connaissances gagnent d'âge en âge et « un bon esprit cultivé est pour ainsi dire composé de tous les esprits des siècles précédents » (Fontenelle). Les générations se transmettent, non plus seulement l'aptitude à apprendre, comme le font les animaux intelligents, mais encore les résultats acquis, les progrès réalisés, trésor sans cesse accru où se dépose et se conserve ce que chacune d'elles a trouvé de meilleur. Ainsi se produit un phénomène essentiellement social dont l'Histoire fait son étude.

Cette science est la seule que, dans le vaste champ de la Praxéologie, A. Comte ait jugé à propos de constituer. Sous le nom barbare de « sociologie » (de *socio* et *λόγος*), il en a fait une science particulière dont le sujet est assez mal défini. La sociologie, en effet, devrait, pour justifier son titre, étudier non seulement les sociétés humaines, mais encore les sociétés animales ou végétales et même les agrégats quelconques. Sa limitation de sens est donc arbitraire. On pourrait se contenter du vieux mot d'Histoire, sauf à lui assigner une acception plus précise, celle de « science des développements de la raison ». Ce n'est point parce que l'homme vit en société qu'il raisonne et progresse ; c'est parce qu'il raisonne que les sociétés se développent. Quantité d'animaux vivent en troupes et restent stationnaires : la raison leur fait défaut. La sociologie est conséquemment une science mal qualifiée ; son fondateur a pris l'effet pour la cause et la cause pour un effet.

L'Histoire soulève les problèmes les plus complexes. Des influences sans nombre, des rapports qui s'entrecroisent et se prolongent à l'infini, déterminent dans l'espèce humaine des changements continus. La solidarité des contemporains, la réversibilité des générations font coopérer à une même tâche l'universalité des êtres humains. Discerner dans cette œuvre immense la part des

âges, des groupes, des individus, telle serait la mission de l'Histoire. L'étude de ce grand sujet n'a pas encore été méthodiquement abordée. Les historiens, uniquement attentifs à mettre en relief les aspects dramatiques ou pittoresques des événements, ont négligé les fonctions et constitué, en place de science, un genre littéraire dans les chefs-d'œuvre duquel on trouve plus à admirer qu'à apprendre. Des connaissances positives ne pourront s'établir en Histoire qu'après l'institution d'une Psychologie scientifique et sur ses fondements qui sont à poser. La tentative d'A. Comte était donc prématurée et ne pouvait aboutir. L'auteur du *Cours de philosophie positive* a longuement traité de la sociologie, lui consacrant plus de la moitié de son ouvrage (trois forts volumes sur six), et paraît ainsi lui attribuer plus d'importance qu'à toutes les autres sciences réunies. S'il est vrai que qui voit tout abrégé tout (Montesquieu, *Esprit des lois*, liv. XXX, ch. 2), une disproportion si choquante et tant de prolixité sur un point seraient déjà l'indice de quelque confusion dans les idées. Pourtant, M. Littré fait honneur à A. Comte d'avoir, non seulement établi, mais encore achevé la science sociale : « dans cette sixième partie, dit-il, qui est entièrement de la création de M. Comte, tout était nouveau, tout était à faire et tout fut fait » (*Préface à la 2^e édition du Cours de Philos. posit.*, p. viii). Une telle louange est énorme, mais il en faut beaucoup rabattre. Les sciences ne s'improvisent pas de la sorte et, pour que « tout soit fait », même dans la plus restreinte, bien des siècles d'application, bien des efforts heureux sont nécessaires. Le mérite d'A. Comte, et cela suffit à sa gloire, est d'avoir assigné à l'Histoire un rang parmi les sciences. Quant à la science elle-même, tout reste à faire après lui. Il n'a su, en effet, ni reconnaître son véritable objet, qui est l'étude des développements de la raison; ni saisir ses relations avec la Psychologie qu'il supprime; ni marquer la place de l'Histoire dans la science générale des fonctions; ni enfin distinguer sa

méthode particulière d'investigation, qui doit être surtout statistique. Pour lui, la sociologie se réduit à des généralisations anticipées, à des spéculations à priori. En un mot, il a fait la métaphysique de l'histoire, il n'a pas constitué une science capable de formuler des lois et d'en déduire des prévisions justifiées.

Bien qu'il soit difficile de tracer une ligne de séparation entre des progrès dont la continuité ne comporte guère de divisions tranchées, on pourrait admettre, dans une étude de l'activité rationnelle, des cycles caractérisés par les occupations prédominantes, car la manière dont il est pourvu aux besoins les plus pressants indique le mieux les stades d'affranchissement de la raison. Aux divers « états de civilisation » correspondent des aptitudes spéciales. La distinction principale doit ici porter sur le fait que les peuples ne sont pas ou sont « policés » (de *πολις*, cité). Leur condition de culture diffère en effet essentiellement suivant qu'ils vivent errants, dispersés, sans lien fixe et soumis au seul empire de la coutume, ou qu'ils habitent des villes et font partie de sociétés régies par des lois.

a. — Durant un âge qui représente l'enfance du genre humain, l'état sauvage, qu'on doit éviter de confondre avec l'état de nature où sont restés les singes anthropoïdes, se fonde sur quelques inventions primordiales très simples, mais décisives, telles que l'usage du feu et la confection d'armes ou d'outils, qui donnent à l'homme, devenu le plus fort des carnassiers, la suprématie sur les animaux et lui permettent d'en exploiter les ressources par la chasse.

A la guerre, rude et hasardeuse, succède la domination tranquille. Les populations humaines, mises, par la domestication des animaux les plus utiles, à l'abri des plus grands besoins, s'engagent dans des voies nouvelles et inaugurent l'état barbare. Les tribus pastorales, obligées

à errer sans cesse à la suite de leurs troupeaux, mènent une existence d'aventures et d'entraînement. Dans les loisirs d'une vie facile la passion s'exalte et fournit à l'activité ses mobiles principaux dont s'inspirent les chants de la poésie naissante.

b. — Plus tard, l'état agricole ouvre à l'homme une carrière de progrès variés et rapides. Abandonnant les mœurs vagabondes et pillardes des nomades, les populations se fixent au sol, obéissent à des lois et forment de grands états. L'art embellit la terre de ses premières créations. L'écriture est inventée; la science commence ses recherches; des institutions se fondent...

Enfin, pendant la phase industrielle et commerciale, l'homme étend ses conquêtes sur la nature, discipline les forces brutes et utilise les éléments de richesse dispersés dans le monde entier. Des populations plus denses s'agglomèrent dans les villes, foyers actifs de civilisation. Un réseau de vastes relations internationales prépare l'unité future du genre humain...

Ces progrès de la raison semblent avoir coïncidé avec ceux de l'organisation cérébrale chez les différentes races humaines. La noire est la plus mal douée d'aptitudes à la civilisation, et c'est parmi ses représentants qu'on trouve les groupes les plus abaissés (Boschimans, Fuégiens, Australiens...). La race rouge, arrêtée par le manque d'animaux domestiques, ne s'est guère élevée au-dessus d'un état sauvage à demi barbare. Les Touraniens et les Sémites ont fondé le régime pastoral; les Chinois et les Aryens sont agriculteurs; ces derniers seuls ont pratiqué la grande industrie.

Ainsi la raison, « *nîsus excelsior* » de l'activité psychique, assure à l'homme la prééminence sur tous les êtres animés. Les conditions exceptionnelles de vie que s'est faites l'espèce humaine, l'appropriation des choses utiles

à ses besoins, l'étendue de ses désirs, les créations des arts, les découvertes des sciences, les progrès des mœurs, l'équité des rapports sociaux, tout se lie à l'exercice d'une faculté qui conçoit un ordre général et en suit volontairement les lois.

Puissances réfléchies et en partie autonomes, l'intelligence et la raison procurent donc aux êtres qui les possèdent la connaissance et le gouvernement d'eux-mêmes. Ce sont les facultés par excellence ou plutôt ce sont les seules facultés véritables, car les actes qu'elles ne déterminent pas n'ont rien de facultatif. Par elles, les organismes supérieurs, tirés du rang des choses passives et des automates inconscients, deviennent des agents, non pas libres dans le sens absolu du mot, mais capables de diriger, sous des lois qui leur sont propres, un nombre croissant d'actions. Par suite, leur activité comporte des développements et des progrès dont l'ordre variable contraste avec la stabilité relative des actes irréflechis.

CONCLUSION

Résumons l'ensemble des fonctions psychiques. Les divers modes d'activité, l'action réflexe, l'instinct, l'intelligence et la raison, constituent les termes d'une même série où la clairvoyance et l'initiative vont en augmentant par degrés. L'être animé prend d'abord conscience de ses états, puis de ses actes, ensuite de leur but, enfin de leurs lois. Dans le principe, il agit sans savoir comment; après, sans savoir pourquoi; plus tard, il concerte ses moyens d'exécution et finalement il ramène tous ses mobiles à un seul but. Aux stimulations aveugles de l'appétit succèdent les impulsions formelles du désir, suivies elles-mêmes des déterminations motivées de la volonté qui dominant les

règles approuvées et librement obéies de la raison. A travers ces phases successives, l'activité s'étend et se complique de plus en plus. La réflexivité adapte directement, en vertu même des propriétés de tissu, un mouvement à une impression; l'instinct préordonne plusieurs impressions distinctes et détermine une série de mouvements; l'intelligence choisit, dans la multitude des occurrences, les plus utiles à l'agent; la raison établit la concordance de tous les motifs d'action, met de l'unité dans la conduite de la vie et lui assigne pour fin une perfection idéale. Les êtres prennent part à ces progrès dans la mesure de leur développement organique. Tandis que la faune inférieure est uniquement mue par la réflexivité, les articulés manifestent de merveilleux instincts; les vertébrés sont intelligents; l'homme seul est raisonnable. Il n'y a pas dans l'ordre de la nature de plus beau spectacle que l'évolution par laquelle la création animée s'élève graduellement de l'inconscience à la clairvoyance, de l'automatisme à l'autonomie, de la passivité à la liberté.

II

PRAXÉOLOGIE SYNTHÉTIQUE

SCIENCE DE LA CORRÉLATION DES FONCTIONS

Examinons maintenant les rapports des phénomènes dont nous venons d'exposer le détail. Tous les modes de l'activité soit somatique, soit psychique, sont en effet connexes, s'influencent réciproquement et s'expliquent les uns par les autres. Deux sortes de corrélations les unissent, les unes spéciales, les autres générales, suivant qu'elle associent les fonctions par groupes restreints ou dans l'ensemble. La « Praxéologie comparée » traite des premières et la « Praxéologie générale » des secondes.

I. — PRAXÉOLOGIE COMPARÉE

SCIENCE DES CORRÉLATIONS SPÉCIALES DES FONCTIONS

THÉORIE DU CONSENSUS DES FONCTIONS

A l'unité plastique des êtres correspond leur unité fonctionnelle. L'une et l'autre sont l'expression d'un tout dont les éléments se tiennent et dont les fonctions concordent. L'ordre qu'elles résument serait compromis si l'agrégat se composait de parties disparates investies de fonctions indépendantes. Lorsque de tels cas se présentent, ils constituent des anomalies, des perturbations accidentelles. Quand, par exemple, une substance hétéromorphe est englobée dans un cristal, elle nuit à l'homogénéité de sa structure et altère plus ou moins ses propriétés. De même, si un organisme renferme des corps étrangers, soit inertes, soit vivants, mais doués d'une vitalité propre, ou si une cause de désordre trouble accidentellement ses fonctions, l'intégrité du type se trouve atteinte et son existence menacée. La genèse et la conservation des êtres impliquent donc un « consensus » de fonctions qui tendent au même but. Cet accord semble résulter d'un mode particulier d'action de la force qui les anime. On appelle, en effet, « énergie » la puissance qui produit les phénomènes considérés isolément, et « synergie » celle qui détermine leur concert; mais ce sont évidemment là deux applications de la même force et, dans les synergies, il ne faut voir que des énergies composées.

Les corrélations des fonctions diffèrent selon leur nature. Simples et fixes chez les corps bruts où elles se con-

fondent avec les effets permanents de la cohésion, elles offrent, chez les corps vivants, une complexité, une variabilité en rapport avec celles de leur condition physique, chimique et plastique. Les êtres unicellulaires, réduits à une parcelle de protoplasme, n'ont d'autres fonctions que les propriétés générales de cette substance, et leur activité indistincte s'exerce sans organes appropriés. Toutes les fonctions, à l'état rudimentaire, sont cumulées par la cellule qui se nourrit, respire, sécrète, exhale, se reproduit, sent et se meut. Il en est de même des êtres composés d'une seule sorte de tissu et dont les parties, toutes semblables, sont aptes à remplir tous les ordres de fonctions. L'organisation véritable combine des matériaux différents, varie la conformation des organes et spécialise leurs fonctions. Mais alors des corrélations les unissent, d'autant plus étroites et mieux coordonnées qu'il y a moins de ressemblance entre les parties. Nous avons vu combien d'éléments divers, doués d'une indépendance relative, d'une sorte d'individualité subordonnée, admet un système organique où figurent des appareils, des organes, des tissus et des cellules sans nombre. Chaque élément histologique a ses conditions d'existence, son mode d'accroissement et de reproduction, son régime, ses poisons, sa façon de vivre et sa façon de mourir. Toutefois, pendant que chacun d'eux accomplit à part sa fonction propre, il concourt à l'harmonie de l'ensemble. La résultante qui s'appelle « vie » totalise une multitude d'activités qui concourent. « Chaque vivant, dit Leibniz, est constitué par une infinité de vivants. » De nos jours, la science, écartant les hypothèses par lesquelles on personnifiait autrefois le principe de la vie, relègue parmi les entités métaphysiques, à titre d'abstractions réalisées, « l'âme physiologique » d'Hippocrate, « l'archée » de Paracelse, « l'âme » de Stahl, « le principe vital » de Barthez, etc. Pour elle, la vie, synthèse des pouvoirs propres à la substance organique, réside dans l'activité de ses éléments, c'est-à-dire

qu'elle est partout dans les organismes. « L'ensemble des propriétés histologiques qui se superposent et s'ajoutent constitue ce qu'on appelle, d'un nom unique, la vie de l'individu. Cette vie totale est la somme, l'intégrale d'une multitude de vies élémentaires harmonisées. Ainsi la vie n'est pas un principe ayant une existence objective, résidant en un point particulier des corps. Ce n'est pas une force... La vie n'est pas davantage un fait ; c'est une idée ; c'est l'idée du résultat commun par lequel sont associés et disciplinés tous les éléments anatomiques, l'idée de l'harmonie qui résulte de leur concert, de l'ordre qui règne dans leur action » (Cl. Bernard). Êtres complexes dont le vrai nom serait légion, nous sommes des sociétés en nom collectif, des concomitances de phénomènes qui se croisent, se lient un moment et s'effacent bientôt après, comme l'arc-en-ciel qui brille dans une traînée de pluie.

On aurait à étudier les connexités des fonctions d'abord dans l'ordre somatique, puis dans l'ordre psychique, enfin dans les deux réunis.

1. — CORRÉLATIONS DES FONCTIONS SOMATIQUES

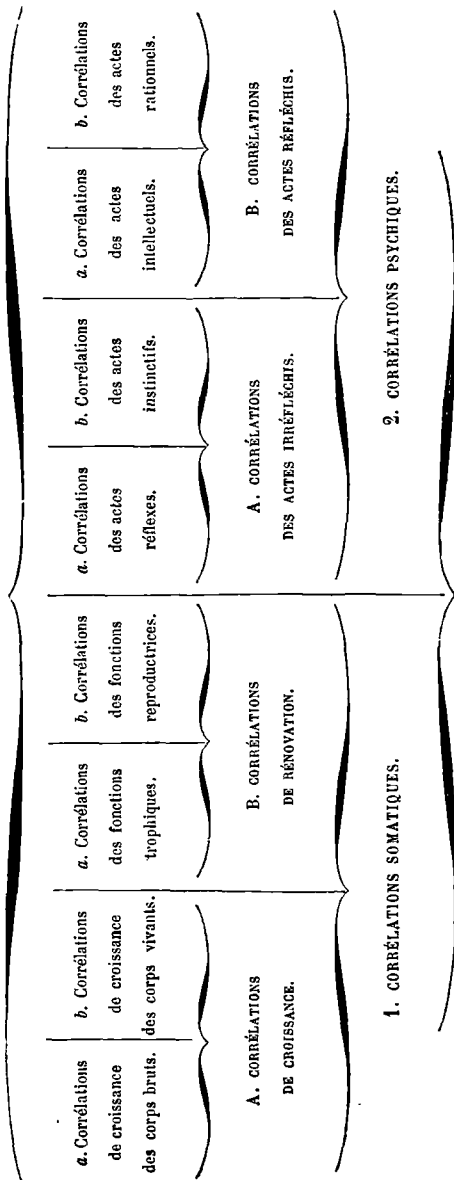
Nous avons décomposé les fonctions somatiques en faits de croissance et en faits de rénovation. Examinons séparément leurs rapports.

A. — Corrélations de croissance.

La fonction qui amène les formes à leur plein développement par des adjonctions successives de substance détermine des séries de rapports dans les deux systèmes

PRAXÉOLOGIE COMPARÉE

SCIENCE DES CORRÉLATIONS SPÉCIALES DES FONCTIONS



CONSENSUS DES FONCTIONS, UNITÉ DES ÊTRES.

de la juxtaposition et de l'interposition, c'est-à-dire pour les corps bruts et pour les corps vivants.

a. — Chez les cristaux, les corrélations de croissance sont très bornées. Comme ces corps se construisent avec des matériaux uniformes, assemblés d'une manière invariable ou peu variable, le travail d'accroissement maintient dans le même rapport les axes, les faces, les angles et les arêtes, de telle sorte que la forme se trouve agrandie sans que le type soit altéré. Parfois seulement, les conditions de la prise venant à changer, des variations se produisent; mais alors les parties correspondantes se modifient simultanément par l'effet d'une même cause.

b. — Les corrélations de croissance sont au contraire complexes chez les corps vivants. Leurs éléments anatomiques tendent à varier par suite d'intercalations successives et des réactions qu'ils exercent les uns sur les autres. Les premiers constitués créent à ceux qui se forment ensuite des conditions de développement qui diffèrent de place en place et d'âge en âge. Si grande que soit leur diversité dans un organisme adulte, ils proviennent tous d'une cellule primordiale unique par une série de transformations graduelles. De même que les cellules, les tissus procèdent les uns des autres. On regarde le tissu cellulaire comme la forme embryonnaire des autres tissus dont les éléments se fixeraient à des états spéciaux par suite d'arrêts successifs de développement. Du tissu cellulaire, faiblement différencié, résulteraient d'abord les diverses sortes de tissus passifs; puis, par une modification plus profonde, les trames des tissus actifs. Les éléments histologiques sont ainsi liés par un rapport hiérarchique et les inférieurs, apparaissant dès le début, préparent l'évolution des supérieurs.

Ces matériaux de structure se combinent pour produire les organes, dont le développement par épigénèse

obéit à des lois de balancement et de subordination. A mesure qu'elles croissent et s'ajoutent, les parties des corps vivants réalisent par leur concordance une forme déterminée qui, sauf le cas d'anomalies tératologiques, s'écarte peu du type normal. Néanmoins, la diversité des caractères individuels et mieux encore le nombre des espèces, races ou variétés, attestent la complexité des causes qui influent sur la croissance des organismes.

Si grande est la différence des deux modes d'accroissement, par juxtaposition et par interposition, qu'on serait tenté de les croire inconciliables. La nature pourtant les unit dans plusieurs de ses créations. Ainsi, les végétaux croissent à la fois par intumescence dans les parties molles où leur vitalité est la plus active, et par addition superficielle de couches ligneuses autour de la tige. Chez les animaux mêmes, le test minéralisé des coquillages, les écailles des poissons et des reptiles, les plumes des oiseaux, les ongles et les poils des mammifères résultent, comme les corps bruts, d'une apposition successive de strates.

B. — Corrélations des fonctions de rénovation.

Plus visiblement encore que les fonctions de croissance, celles de rénovation impliquent un concours d'effets dont l'ordre est à étudier au double point de vue de la nutrition et de la reproduction.

a. — La nutrition des éléments organiques comprend, d'une part, l'absorption des substances alibiles diluées, leur élaboration interne et leur assimilation; de l'autre, leur désassimilation et leur élimination. Une balance s'établit entre ces deux séries inverses, mais corrélatives de fonctions. Les gains compensent les pertes et, malgré des

variations normales ou accidentelles, l'intégrité de l'élément se maintient un temps.

Dans les organismes composés, la nutrition spéciale a pour tâche de produire et d'entretenir en état constant de composition le fluide nourricier nécessaire aux divers besoins des organes. Cette fonction, assez simple pour les végétaux qu'alimente le milieu ambiant, se complique chez les animaux qui, ayant besoin d'aliments plus riches, doivent les chercher, les saisir, les diviser, les ingérer, les digérer et les convertir en un liquide assimilable. La circulation, qui le répand ensuite dans toute l'économie, sert de trait d'union entre les fonctions assimilatrices et les fonctions désassimilatrices. En outre, le sang doit être ravivé par la respiration et épuré par les excréments. D'étroits rapports relient tous ces actes physiologiques dont la concordance manifeste nous dispense d'insister.

Enfin, la nutrition organique et la nutrition interstitielle sont inséparables dans les organismes complexes. La première constitue au profit de la seconde le milieu intérieur où vivent les éléments histologiques. Ce concours des deux ordres de fonctions trophiques procure la rénovation durable des êtres vivants.

b. — Des corrélations moins directes unissent les fonctions reproductrices.

Les modes asexués de génération, par scissiparité pour les éléments anatomiques et par gemmation pour les organismes à tissus faiblement différenciés, dérivent d'un principe commun, la séparation soit d'une parcelle de substance, soit d'un axe de croissance du générateur. L'unique différence entre le bourgeonnement et la fissiparité consiste en un commencement de spécialisation.

Les modes de reproduction sexipare ont aussi leurs analogies générales. La génération ovipare et la génération vivipare constituent une même fonction prise à deux

degrés de développement. Dans le premier cas, le germe éclôt en dehors de l'organisme, et, dans le second, il achève son évolution au dedans. On voit même, par les faits d'ovoviviparité, comment, de l'un à l'autre, la transition a pu s'effectuer.

Enfin, la sexiparité se laisse concevoir comme une forme complexe de la scissiparité, car le germe reproducteur est l'équivalent d'un bourgeon clos et détaché. Dans les classes d'êtres chez lesquels la sexualité commence à prévaloir, la reproduction par cellules germinatives s'opère concurremment ou alterne avec la reproduction par ovules fécondés, ainsi qu'on le constate chez un grand nombre de crustacés et d'insectes. Les pucerons, par exemple, émettent d'abord des gemmations oviformes qui donnent naissance à des agames, puis des œufs véritables d'où proviennent des individus sexués. Tous les modes de reproduction se trouvent du reste réunis chez les organismes supérieurs dont les éléments se propagent par scission, les organes par épigénèse et les types par ovulation.

On doit rattacher la nutrition et la reproduction à une cause primordialement simple, à la même propriété fondamentale de la matière vivante. L'irritabilité nutritive et l'irritabilité reproductrice, indistinctes dans les cellules et même chez les infusoires dont le noyau pourvoit simultanément aux deux fonctions, se spécialisent ensuite dans les organismes composés. Cl. Bernard regarde la nutrition, la régénération, la cicatrisation, la réintégration... comme les aspects multiples d'un phénomène au fond identique, l'activité vitale des noyaux cellulaires. « La nutrition, dit-il, n'est qu'une génération continuée » (*La définition de la vie*). Le principe de la fonction trophique se réduirait alors à une sorte de fécondation cellulaire. Mais on pourrait tout aussi bien définir la génération une conséquence de la nutrition en

excès, et cela serait surtout exact de la gemmation et de la production des germes dans le système de la sexiparité. Alors même qu'elles sont le mieux spécialisées et le plus distinctes, les deux classes de fonctions rénovatrices restent unies par d'étroits rapports. D'une part, en effet, la nutrilité fournit à la reproductivité les matériaux surabondants qui permettent aux êtres de se multiplier sans s'appauvrir¹; de l'autre, la reproduction avive la nutrilité chez le générateur et la ramène dans le produit au point de départ de l'évolution où elle a le plus de puissance.

Le concours nécessaire des fonctions de croissance et de renouvellement donne aux êtres vivants le pouvoir d'évoluer et de durer.

Pour les anorganismes, ces deux ordres de fonctions se confondent, et la même cause qui fait croître les corps bruts assure leur permanence. Comme ils n'ont pas de pertes à réparer, toutes les acquisitions de substance se tournent en augmentation de volume et, par suite, la cristallisation s'opère, en général, rapidement.

Chez les organismes, la croissance et le renouvellement sont connexes. Le développement des êtres vivants est d'ordinaire moins prompt que celui des corps bruts, parce qu'ils doivent renouveler leur substance, et la croissance ne s'effectue que dans la mesure où l'assimilation l'emporte sur la désassimilation. Aussi les physiologistes subordonnent-ils souvent l'évolutivité à la nutrilité. Cependant, il semble y avoir dans la première quelque chose d'antérieur et de primordial. En fait, l'assimilation est une croissance et la désassimilation constitue la perte que la nutrition a pour tâche de réparer. La fonction trophique se ramènerait ainsi à un phénomène d'accrescence. Toutefois, on pourrait aussi concevoir l'accroissement

1. On sait l'adage antique : « *Sine Cerere et Baccho friget Venus.* » (Térence, *L'eunuque*, acte IV, v. 6.)

comme le résultat d'une nutrition active où le gain excède la perte.

Quant au processus de la croissance par rapport à la nutrition, les plantes sont intermédiaires entre les cristaux qui, ne perdant rien, augmentent vite, et les animaux qui, perdant beaucoup, croissent lentement. Comme, chez les végétaux, les parties minéralisées dont se compose le ligneux ne se renouvellent pas, la dépense vitale reste limitée, pendant que le pouvoir d'absorption des parties en cours d'évolution est considérable. La croissance est donc relativement rapide. Les animaux, au contraire, obligés de renouveler intégralement leur substance, et cela d'autant plus vite que leur vie est plus intense, croissent avec lenteur. A poids égal, l'animal absorbe plus que la plante, et pourtant son gain est moindre parce qu'il dépense davantage. La croissance prédomine dans l'un, la nutrition dans l'autre.

La génération résulte d'une relation entre la croissance qui, approchant de son terme, se ralentit, ou, l'ayant atteint, s'arrête, et la nutrition qui, dépassant alors les besoins de l'organisme, peut suffire à la production de germes rénovateurs. Lorsque, en effet, la nutrition, continue de sa nature, l'emporte sur l'accroissement, toujours limité, la surabondance des matériaux assimilables, sans emploi pour le renouvellement du type individuel, se dépense en régénération au profit de l'espèce. L'être, parvenu à son plein développement, déborde pour ainsi dire hors de ses limites et émet des germes qui, évoluant à leur tour, perpétuent l'existence de leur auteur. La génération est donc une croissance externe qui se prolonge à travers des séries d'êtres successifs. D'autre part, la reproductivité donne une énergie nouvelle à l'évolutivité et la ravive en substituant à des adultes, chez lesquels la fonction de croissance est nulle ou très affaiblie, des êtres jeunes chez lesquels elle est au contraire à son maximum.

Ainsi les fonctions somatiques, liées par une solidarité générale, influent les unes sur les autres, et l'unité physiologique des êtres résulte de leur accord. Cette harmonie, aussi complète que possible, constitue la santé, c'est-à-dire le développement régulier de l'existence. Mais la santé parfaite est un idéal qui ne se réalise jamais dans ce qu'il a d'absolu. Toute déviation qui fait sortir les fonctions, par insuffisance ou par excès, de la juste mesure qu'exigerait un ordre strict, est pour l'organisme une cause de trouble. Par malheur, cet état de maladie est, pour ainsi dire, le seul naturel. A défaut même des influences perturbatrices qu'entraînent les variations du milieu et des accidents sans nombre, les êtres sont menacés par la lutte sourde que se livrent en eux leurs éléments et leurs organes. Néanmoins, tant que la vie se maintient, l'ordre domine et le concert des fonctions l'emporte sur leur désaccord.

2. — CORRÉLATIONS DES FONCTIONS PSYCHIQUES

Les fonctions psychiques ont aussi leurs relations nécessaires et se coordonnent en résultantes collectives. Examinons-les dans les deux séries de l'irréflexion et de la réflexion.

A. — Corrélations des actes irréflechis.

Des connexions spéciales unissent d'une part les actions réflexes, de l'autre les instincts, enfin ces deux modes d'activité.

α. — De la correspondance qu'ont entre eux les centres nerveux proviennent les rapports qui lient les actes réflexes. Les ganglions isolés donnent lieu à des réflexivités

indépendantes; mais ceux qui sont associés en système comme dans le grand sympathique entrecroisent leurs influences et agissent de concert. Beaucoup plus complexes, les centres supérieurs, la moelle épinière et le cerveau, constituent des fédérations de ganglions où se produisent des réflexivités composées dont les effets se répercutent dans tout l'appareil. Une sorte de hiérarchie fait dépendre les uns des autres les divers centres d'innervation. L'encéphale, qui a la prédominance dans l'ensemble, n'agit pas directement sur les fonctions de la vie organique, mais par l'intermédiaire des centres inférieurs qui les gouvernent et qui lui sont subordonnés. Il communique par la moelle allongée avec le cordon spinal, et par le nerf vague avec le grand sympathique. Par suite, une double série de réactions sympathiques et conscientes se produit entre les deux systèmes ganglionnaire et cérébro-spinal. En outre, l'influence que les éléments du système nerveux exercent les uns sur les autres se manifeste par des effets, soit d'excitation mutuelle, soit d'« inhibition », signalés par M. Brown-Séguard et qu'on a pu rapprocher des phénomènes d'interférence. Ces diverses corrélations règlent tout le détail du mécanisme organique.

b. — Unis par des relations analogues, mais moins simples, les instincts réagissent les uns sur les autres et, tantôt se suscitent, tantôt se contrarient. De l'instinct général de conservation dérivent les instincts nutritif, domiciliaire, défensif, prédateur, etc. A l'instinct génétique se rattachent des instincts constructeur, incubateur, éducateur, social, etc. On passe des instincts égoïstes aux instincts altruistes par les sentiments que H. Spencer appelle « égo-altruistes » et dont le vrai type serait l'amour sexuel. L'altruisme continue et agrandit l'égoïsme. Par l'effet de leurs relations mutuelles, les instincts sont faciles à troubler. Ainsi l'instinct génétique, si puissant chez les animaux libres, cesse d'agir sur ceux qui vivent captifs,

dans un état continuel de crainte et d'inquiétude. Chez l'homme, les passions qui tiennent de si près aux instincts ont entre elles des connexions multipliées. On les a comparées à ces serpents qui dorment enroulés en formant des nœuds. Dès que l'un d'eux se réveille, la troupe entière ondule et siffle. Il suffit de considérer l'amour, la cupidité, l'ambition, pour voir combien ces passions maîtresses appliquent de puissance et mettent en jeu de ressorts¹. La complexité des passions, leurs conditions d'accord ou de conflit et le perpétuel imprévu de leurs métamorphoses déroutent les moralistes et posent à la Psychologie des multitudes de problèmes.

Enfin, une relation générale lie les réflexivités et les instincts. D'une part, en effet, les actes réflexes coordonnés deviennent des instincts; de l'autre, les instincts exercent et développent les réflexivités. Ils se stimulent réciproquement. Lorsqu'un animal, à sa naissance, s'agite et cherche des aliments, il est mû par une action réflexe et cède à la sensation de besoin. Puis l'instinct évoqué fait agir des réflexivités récurrentes et procure la satisfaction du besoin par des mouvements appropriés. Une corrélation automatique d'actes réflexes et d'instincts suffit à déterminer l'activité de tous les invertébrés. Dans l'homme, alors même qu'il agit avec intelligence et réflexion, cette influence est encore considérable et il serait malaisé de faire la juste part de l'appétition ou du désir dont il subit à son insu la tyrannie. Nos instincts les plus formels et, par suite, nos passions les plus intenses dépendent de nécessités organiques soumises aux lois de la réflexivité. Le principe de l'égoïsme est le besoin d'aliments; celui de l'altruisme, le besoin d'engendrer. L'amour, malgré tout ce que la raison peut

1. Un des hymnes orphiques (H. LVII) appelle l'amour : πάντων κληιδας ἔχοντα, « qui tient les clefs de toutes choses. »

y ajouter d'idéal, n'est qu'un appétit transfiguré : « aimer, c'est avoir besoin » (Helvétius).

B. — Corrélations des actes réfléchis.

Comme le propre de la réflexion est de lier les motifs d'agir, les actes qu'elle détermine comportent les connexions les plus étendues. L'intelligence et la raison se caractérisent par l'accord logique de leurs modes d'activité.

a. — L'intelligence, qui choisit et combine les moyens d'action en vue d'une fin, établit des corrélations par séries. Aux prises avec des occurrences diverses, elle doit surmonter des obstacles, comparer des éventualités, utiliser des ressources. L'éducation que chaque être reçoit ou se donne rattache son activité présente à son activité passée et met, sous la loi de l'expérience, de la suite dans son développement. En outre, les aptitudes intellectuelles réagissent les unes sur les autres, et les systèmes raisonnés d'éducation tendent à modifier les idées par les sentiments, les volontés par les idées, les actes par l'habitude, de manière à dominer l'activité totale au moyen d'un de ces éléments sur lequel on a prise. Dans un être intelligent tout se tient; les mobiles se coordonnent et, quoiqu'ils changent sans cesse, l'esprit conserve son unité.

b. — La raison détermine les plus vastes corrélations d'effets. Elle ne se borne pas, comme l'intelligence, à lier des séries d'actes; elle conçoit un ordre général, assigne des lois à l'ensemble et se fait des « règles » de conduite applicables au détail entier de la vie. Au lieu de poursuivre des fins particulières, souvent contradictoires, elle vise un but idéal, très élevé, auquel tout se ramène. Un principe personnel d'action ne lui suffirait même pas ;

il lui faut l'adhésion et le concours de tous les êtres raisonnables. Puissance essentiellement collective, elle établit l'influence réciproque de tous sur chacun et de chacun sur tous. Par elle, les hommes, dispersés dans l'espace et successifs dans la durée, sont unis par des liens de solidarité et de réversibilité. Alors que chacun d'eux paraît ne poursuivre que son avantage, l'harmonie s'effectue entre tous par la concordance des activités respectives. Ainsi, suivant la comparaison de Leibniz, des balanciers fixés à un même support et mus par des forces indépendantes, régularisent peu à peu leurs battements d'abord inégaux et finissent par osciller de concert, grâce aux vibrations du support qui les rangent à une commune loi. L'ordre s'établit de lui-même dans l'ensemble des actes que gouverne la raison, et la vie du genre humain réalise une grandiose unité. « Toute la suite des hommes, dit Pascal, pendant le cours de tant de siècles, doit être considérée comme un même homme qui subsiste toujours et qui apprend continuellement » (*Fragment d'un traité sur le vide*). Bien avant Pascal, saint Augustin avait, en plusieurs endroits de ses ouvrages, exprimé l'idée que le genre humain est un et ressemble à un homme qui, passant par divers âges, fournit sa carrière dans le temps (*De civitate dei*, lib. X, cap. xiv, et *De quæstionibus*, lxxxiii, qu. 58). La civilisation, expression de la vie de l'espèce, doit être conçue comme une force accumulée et croissante qui se compose de tous les gains opérés par la raison, dans tous les lieux et dans tous les temps. Ses éléments divers l'industrie, l'art, la science, la morale, l'état social, se prêtent de mutuels secours. Enfin, la raison n'a pas seulement des rapports avec elle-même ; elle embrasse l'universalité des choses, prétend les toutes ranger à sa loi et se donne pour mission cosmique de conformer à son idéal l'ensemble des réalités.

L'intelligence et la raison, étroitement associées, mar-

quent deux degrés de réflexion. L'intelligence est une raison imparfaite dont les vues sont courtes et les décisions mal concertées ; la raison, une intelligence étendue qui voit loin et veut avec suite. Il suffisait donc de coordonner les mobiles incohérents de la première pour se rapprocher des généralisations logiques de la seconde. Ces deux modes supérieurs de l'activité psychique collaborent incessamment. La raison exerce l'intelligence et l'intelligence applique au détail des faits les lois édictées par la raison. Tout progrès accompli par l'une d'elles tourne aussitôt au profit de l'autre.

Des relations générales unissent les actes irréfléchis et les actes réfléchis.

Les premiers, seuls capables de se produire isolément, dans les conditions les plus simples, marquent le point de départ de la vie animale. C'est la réflexivité qui donne aux organes le branle initial ; l'instinct entraîne ensuite l'organisme dans les directions où l'appellent ses besoins. Grâce à cette double impulsion, les êtres, prêts pour une activité réfléchie, sont des mécanismes tout montés, mis en train et qui n'ont plus besoin que d'être réglés. Une force aveugle devait donc agir au début avant qu'une volonté clairvoyante pût intervenir utilement. A l'origine de tout acte intelligent ou raisonné, il y a, comme indication de mouvement, des actes spontanés, inconscients, ce que M. Bain appelle « les germes instinctifs de la volonté » (*Les sens et l'intelligence*, p. 258). « La volonté, dit M. Ribot résumant les théories des psychologues anglais, a sa source dans l'activité, soit de l'organisme, soit des instincts, appétits et passions. Sous sa forme adulte, la volonté est un pouvoir directeur, régulateur. Mais avant d'y parvenir, elle traverse une période de tâtonnements, d'efforts et de conquêtes. Ce pouvoir volontaire, simple en apparence, est une machine compliquée, faite de pièces de

rapport. Les faits volontaires sont soumis à la loi universelle de causalité » (*Psychologie anglaise contemporaine, Conclusion*).

On se méprend quand on assimile, comme tant de philosophes l'ont fait, après Aristote, l'esprit à une table rase ou à une page blanche. Dans l'être le plus dénué de réflexion et de connaissances acquises, mais appelé à penser et à vouloir, préexistent des tendances, des instincts formels, des aptitudes latentes qui, pour s'exercer, n'attendent que l'occasion favorable. Il n'est pas une page blanche, mais une page écrite avec une encre de sympathie et dont les caractères invisibles apparaissent sous l'influence de la réaction voulue. En d'autres termes, pour sortir du langage figuré, toujours inexact, l'automatisme des fonctions irréfléchies précède et prépare l'autonomie des fonctions réfléchies.

Par contre; le pouvoir dont l'intelligence et la raison disposent met en partie sous leur dépendance les modes inférieurs d'activité réduits au rôle de simples agents d'exécution. La direction qu'elles donnent aux actes facultatifs a pour effet de développer des instincts et des réflexivités. Nombre d'actions, d'abord réfléchies et voulues, deviennent irréfléchies et involontaires sous l'empire de l'habitude ou de l'hérédité. Tel mouvement comme la marche qui, au début, chez les enfants, exige une attention soutenue, s'exécute ensuite machinalement dès que la volonté le commande. On arrive ainsi à faire sans effort, presque sans conscience, mille choses apprises avec peine, mais rendues faciles par l'accoutumance, comme parler, lire, écrire, jouer d'un instrument de musique, pratiquer un métier ou un art quelconque. Sous l'influence de l'habitude, il s'opère en nous un déclassement graduel d'actions qui les fait passer du régime de la volonté sous les lois de l'irréflexion. En somme, l'activité consciente façonne et modifie à son gré le mécanisme de l'activité inconsciente et en tire des

effets que, de lui-même, il serait incapable de produire.

Ainsi, les deux ordres de fonctions psychiques forment une association naturelle, malgré leur antagonisme apparent. Nous les distinguons dans nos analyses, mais la réalité ne les sépare pas et, loin de les opposer, les unit. « Instinct et raison, dit Pascal, marques de deux natures. » (*Pensées*, t. II, p. 152.) Pascal se trompe. Ce ne sont pas là deux natures ; c'est la même nature prise à deux degrés de son développement. L'esprit dont l'homme s'enorgueillit ne diffère point par essence de l'instinct des animaux ; il représente le terme le plus élevé d'une progression qui va sans lacunes de la réflexivité la plus machinale à la plus haute raison. L'instinct est une intelligence qui s'ignore, la raison un instinct sublime. Les facultés supérieures procèdent des inférieures et les continuent.

« Et quod nunc ratio est, impetus ante fuit. »
(Ovide, *Remediorum amoris*, lib. I, v. 10.)

Ces « natures » réputées contraires, l'homme les cumule et les concilie. En lui, les réflexivités, les instincts, les facultés intellectuelles et les aptitudes rationnelles, réclamant à la fois, sollicitent l'activité en divers sens. L'ancienne philosophie proclamait l'homme double : « *homo duplex* ». Elle aurait dû plutôt dire : « *homo multiplex* ». Il est, comme les Anglais le disent de Shakspeare, « *myriad minded* ». Son individualité psychique se compose, non d'une âme simple, mais d'une collection d' « âmes » inégalement douées qui résident dans les divers centres nerveux, se partagent le travail et collaborent sans se connaître comme les habitants d'une cité populeuse. Néanmoins, la pluralité des tendances n'engendre point la confusion et, malgré des incohérences de détail, l'ordre règne dans l'ensemble. Les activités concordantes donnent à l'être, avec la conscience de lui-même, le sentiment d'une indivisible unité.

Au surplus, la difficulté d'expliquer le développement des modes de l'action psychique n'existe que pour la théorie, car, en fait, le passage de l'une à l'autre condition s'opère naturellement, imperceptiblement. L'homme débute par l'inconscience presque absolue de ses éléments générateurs. L'ovule et le spermatozoïde dont il provient sont animés, on n'en saurait douter, puisque le second se meut et que chacun d'eux transmet au produit une part des aptitudes propres au procréateur. Que peut être, pris à cette date, l'état de conscience de ces deux cellules, et que devient-il lorsque, par suite de l'imprégnation, les deux âmes potentielles dont elles sont depositaires se trouvent confondues en une seule ? Comment l'être parti de si bas s'élève-t-il ensuite si haut ? Une progression continue fait, dans l'intervalle de quelques mois, sortir d'un germe inconscient un être doué de facultés supérieures et prêts à s'exercer. Réduit à des actions réflexes pendant la phase embryonnaire, il est, à partir de sa naissance, sous la double contrainte de la sensation et du besoin, mû par les stimulations de l'instinct. Bientôt après, son intelligence s'éveille et gagne rapidement. Enfin, devenu capable de raison, il est initié à la vie de l'espèce, s'approprie une part de ses progrès et contribue à les augmenter. Dans cette suite étonnante d'accroissements d'esprit, on ne saurait tracer de limites et dire : à tel moment, l'être a été animé ; ici a surgi la conscience ; là l'instinct est entré en action ; telle date a vu poindre l'aube de l'intelligence ; telle autre luire la raison. L'activité psychique se développe par une croissance régulière et l'homme arrive à la pleine possession de lui-même comme, à chaque aurore, la nature passe de la nuit au jour, par une accumulation insensible de lumière.

CONCLUSION. CORRÉLATIONS DU SOMATISME
ET DU PSYCHISME

Indiquons, pour terminer, la connexion générale qui unit les deux grandes classes, somatique et psychique, de fonctions. La théorie des rapports entre le corps et l'âme est un des problèmes que les philosophes ont le plus souvent, mais le plus vainement agité, parce que, établissant à priori l'antinomie des deux termes, ils se mettaient dans l'impuissance de les concilier logiquement. L'accord se fait de lui-même dans la nature, puisque, d'après ce que nous connaissons de son ordre, ces essences réputées contraires ne sont jamais séparées, et il se fera dans la science, quand on voudra bien les considérer, non comme des principes absolus et antagonistes, mais comme les effets différents d'une même cause. Dès qu'on envisage les choses sous cet aspect, on reconnaît la solidarité nécessaire, l'indivisibilité réelle des deux sortes de fonctions. L'étude de leurs rapports pourrait s'appeler « Psychophysologie ». Fechner, qui l'a inaugurée sous le nom de « *Psychophysique* » (1860), la définit : « la théorie exacte des relations entre l'âme et le corps et, d'une manière générale, entre le monde physique et le monde psychique. » La Physiologie et la Psychologie ne sont pas, en effet, des sciences indépendantes qu'on puisse tenir longtemps isolées. Elles ne paraissent étrangères et parfois même ennemies que lorsque chacune d'elles a la prétention de tout expliquer à elle seule. De là résultent alors des tendances matérialistes pour l'une, spiritualistes pour l'autre, c'est-à-dire deux systèmes de métaphysique ou plutôt une double erreur. Ramenées à leur rôle naturel de sections d'une même science, elles cessent de se contredire et arrivent par diverses voies à des résultats concordants. Au lieu de montrer séparément deux moitiés de vérité qui,

opposées, se démentent l'une l'autre, elles doivent combiner leurs efforts et leurs moyens d'investigation afin de découvrir la vérité totale qui les intéresse également l'une et l'autre.

Sans le concours des fonctions somatiques l'activité des fonctions psychiques ne pourrait pas se concevoir.

Le système nerveux et le système musculaire, incapables de subsister par eux-mêmes, composent un appareil spécial inséré dans un organisme qui le protège, le nourrit et le stimule. Cet appareil, soumis aux lois générales du somatisme, se développe par un fait de croissance, se conserve par un fait de nutrition et se régénère par un fait de reproduction. Son activité constitue donc une fonction échafaudée sur d'autres fonctions. La vie de relation se surajoute à la vie organique et la présuppose. L'une se résume en phénomènes de « concentration vitale » ou de « synthèse assimilatrice » ; l'autre en phénomènes de « dépense vitale » ou de « combustion désassimilatrice. » (Cl. Bernard, *La définition de la vie.*)

. L'être vivant agit aux dépens de sa propre substance. Chaque acte psychique entraîne l'usure et l'élimination d'une quantité de matière. La fibre qui transmet une impression sous forme d'onde nerveuse, la cellule qui en change la direction, le muscle qui, subséquemment, se contracte, exécutent un travail, et la force dépensée correspond à des mutations chimiques. « Quand la sensibilité et la volonté se manifestent, les nerfs s'usent ; quand la pensée s'exerce, le cerveau se consume... On peut dire que jamais la même matière ne sert deux fois à la vie... L'usure moléculaire est toujours proportionnée à l'intensité des manifestations vitales. » (Cl. Bernard, *id.*). Ces altérations imposent une réparation adéquate. La puissance des actions physico-chimiques dont le cerveau est le siège se révèle par sa température supérieure à celle de tous les autres organes. Pour réparer ses pertes et

pourvoir à ses fonctions, l'encéphale reçoit du cœur une quantité de sang évaluée au cinquième de la circulation totale, et même l'afflux sanguin est cinq fois plus considérable dans la substance grise que dans la substance blanche. Malgré la libéralité avec laquelle le fluide nourricier lui est départi, le tissu nerveux en action s'use plus rapidement encore qu'il ne se régénère. La force qui entretient son fonctionnement est plus vite consommée que rétablie, et l'organe cérébral, bientôt fatigué, a, chaque jour, besoin d'un intervalle de repos afin de se refaire et de reprendre, pendant le sommeil, son équilibre dynamique dérangé pendant la veille. Bichat a particulièrement insisté sur cette intermittence de la vie animale qui contraste avec la continuité de la vie végétative. Par suite, la première est subordonnée à la seconde. Lorsque la nutrition devient insuffisante, l'action psychique se trouble et court risque de s'arrêter. Pour peu que la circulation ou la respiration soit suspendue, on voit le cerveau défaillir et la conscience se perdre dans une syncope. Au contraire, si l'on injecte du sang oxygéné dans les tissus musculaires ou nerveux quand leur activité est très affaiblie et presque mourante, elle reprend aussitôt. Les éléments de l'organisme, investis de fonctions trophiques, doivent donc fournir aux tissus actifs les matériaux qui servent à reconstituer leur substance et les forces latentes qu'ils transforment en manifestations psychiques.

A raison de ce concours, l'activité somatique exerce une influence excitatrice sur l'activité psychique. Le vrai moteur de l'esprit, c'est le corps qui, par le jeu spontané de ses organes, donne le branle à tout et met en action un mécanisme de fonctions engrénées les unes dans les autres. De lui viennent l'impulsion initiale et l'entraînement continu. L'automatisme est le grand ressort de l'autonomie. D'après la loi de continuité formulée par Leibniz (« *lex continui in natura* »), l'origine du conscient est à chercher dans l'inconscient. Nos perceptions dis-

tinctes dérivent par voie de synthèse de celles qui sont trop petites pour être remarquées. Les sensations sourdes représentent pour le sens intime quelque chose d'analogue à la vie des éléments anatomiques dans l'unité de l'organisme, c'est-à-dire qu'une multitude d'activités infimes, séparément imperceptibles, se résument dans une activité totale pleine de grandeur. Leibniz les compare à ces bruits de vagues dont aucun ne se ferait entendre s'il était seul, mais qui, ajoutés les uns aux autres et perçus tous à la fois, deviennent la voix retentissante de l'Océan (*Nouveaux essais sur l'entendement humain*). La transformation de l'inconscient en conscient ne devrait pas plus étonner que le fait par lequel des molécules invisibles composent en s'agglomérant des corps visibles. Pour la conscience comme pour la vue, il y a un point avant lequel tout échappe, à partir duquel tout est saisi. Puisque la conscience n'apparaît pas dans les êtres dès le début de l'évolution, ni tout à coup, mais est le terme d'une série de progrès, il faut que l'inconscient préexiste et que le conscient en sorte. Là, sans doute, se produit un effet analogue à celui de la chaleur obscure qui, lorsqu'elle atteint un certain degré, devient lumineuse. Au moment où éclate l'idée consciente, il se fait dans l'esprit une sorte d'explosion comparable à la décharge qui transforme l'électricité de tension en électricité dynamique, c'est-à-dire une force insensible en une force efficiente, qui se manifeste avec bruit, chaleur et lumière.

La sensibilité n'est point l'attribut exclusif de la substance nerveuse ; elle appartient à toute substance vivante, car l'irritabilité et le mouvement sont une propriété générale des cellules. Si les éléments musculaires et nerveux la démontrent avec le plus de puissance, ils n'en ont pas le privilège et leur activité n'est qu'un cas particulier de l'activité cellulaire. Sous le moi centralisé de la conscience gît le moi diffus de l'organisme, le premier ne faisant guère que ramener le second à l'unité. Le système

nerveux est un appareil collecteur qui, sans rien tirer de lui-même, draine pour ainsi dire les sensibilités latentes des éléments organiques, les totalise et les rend ainsi perceptibles. Alors la puissance, accumulée et acquérant une tension supérieure, constitue une force mobile et disponible. La conscience, qui opère la sommation des infiniment petits de la sensibilité, est l'expression psychique de l'unité organique. Dans les êtres animés, le principe de l'animation se trouve partout répandu et vouloir localiser l'âme ne serait pas moins chimérique que prétendre localiser la vie. « Ce n'est pas le cerveau, c'est l'homme qui pense. » (Lewis, *La base physique de l'esprit.*) L'esprit se dégage de l'organisme entier dont chaque parcelle est sensible et comme imprégnée de spiritualité.

Outre cette action générale et continue, le somatisme exerce sur les développements du psychisme une action particulière et variable dont les conséquences s'étendent sur tout. On sait combien l'état du corps, sa constitution, ses besoins, sa condition de bien-être ou de souffrance, de santé ou de maladie, influent sur des facultés qui croient ne relever que d'elles-mêmes. Cette cause, d'autant plus puissante qu'elle s'exerce à notre insu, se fait sentir sur nos passions, sur nos goûts, sur nos humeurs, sur nos idées, sur notre caractère que Bichat appelle « la physiologie du tempérament », et jusque sur notre moralité. L'étude de toutes les influences qui agissent sur l'homme et qu'il faudrait modifier pour le rendre moins imparfait, montre à quel point s'abusent les moralistes naïfs qui pensent que, pour incliner les âmes au bien et contraindre les volontés indociles, il suffit d'énoncer de belles maximes. La tâche est malheureusement moins aisée, et le peu d'efficacité des meilleurs préceptes le prouve de reste. Descartes, plus clairvoyant, a dit avec un sens profond : « l'esprit dépend si fort du tempérament et de la disposition des organes du corps, que, s'il est possible de trouver quelque moyen qui rende communément les

hommes plus sages et plus habiles qu'ils n'ont été jusqu'ici, je crois que c'est dans la médecine qu'on doit le chercher. » (*Discours de la méthode*, part. VI.) L'hygiène, ce n'est pas seulement de la santé, c'est aussi de la vertu.

On voit également combien se méprennent sur les conditions de l'activité psychique ceux qui admettent comme possible l'existence de purs esprits. Essayer de comprendre comment un être idéal pourrait sentir sans organes, penser sans cerveau, vivre sans corps, agir sans force et durer sans renouvellement de substance, c'est se heurter à toutes sortes de contradictions. « Les créatures affranchies de la matière seraient les déserteurs de l'ordre général... Cet ordre demande la matière, le mouvement et ses lois. » (Leibniz, *Œuvres*, édit. Erdmann, 432, 7.)

D'autre part, les fonctions psychiques réagissent sur les fonctions somatiques et leur prêtent un concours sans lequel, à partir d'un certain degré de complication, elles ne pourraient pas s'accomplir. Si, en effet, dans des conditions d'extrême simplicité, une vie exclusivement organique est possible, comme les végétaux et les protistes en sont la preuve, le secours de l'activité psychique était indispensable au fonctionnement d'organismes composés tels que ceux des animaux. Sans l'aide de facultés conscientes et directrices, ils ne seraient pas capables de subvenir à des besoins multipliés. Le système nerveux, « harmonisateur général nécessaire pour obtenir des effets d'ensemble dans les organismes compliqués » (Cl. Bernard, *Leçon XI sur le système nerveux*), associe les parties distinctes sous la discipline d'une action commune et ramène à l'unité leurs activités divergentes. La coordination d'organes et de fonctions qu'exprime le terme de vie empêche la confusion où, sans elle, n'auraient pas manqué de tomber la spécialisation des parties et la division du travail. Aussi observe-t-on dans la série animale un parallélisme constant entre la complexité de l'organisme et le

développement du système nerveux. Enfin, il est bien significatif que la mort des animaux arrive toujours par l'arrêt des fonctions nerveuses. L'être spirituel périt le premier en nous et, dès qu'il cesse d'agir, la vie du système organique devient impossible, tandis que celle des éléments histologiques persiste encore plus ou moins longtemps¹.

Des fonctions de relation étaient donc une condition d'existence pour les organismes complexes qui devaient pourvoir à des exigences diverses, chercher des aliments, accommoder leur activité aux ressources variables du milieu, se soustraire à des périls sans nombre, tour à tour attaquer et se défendre, atteindre les choses utiles et s'éloigner des nuisibles ou les écarter, en un mot, se diriger à travers de mobiles occurrences et assurer l'entretien ou le salut d'une vie besoigneuse et précaire. Chez les animaux, l'activité psychique est uniquement consacrée à cette tâche et en rapport avec ses difficultés. Supposez l'homme privé de ses facultés transcendantes; retranchez aux vertébrés l'intelligence, aux articulés l'instinct, aux plus humbles même la réflexivité : ils ne pourront plus subsister. Le sens du mot « animal » qui signifie « animé » dit assez l'importance des fonctions psychiques pour cette classe d'êtres, puisqu'elles servent à la caractériser.

Considérons une fonction spéciale, celle de reproduction par exemple : les faits qui, chez les plantes, la constituent, sont d'ordre exclusivement physiologique ; la formation et la dissémination aveugles des semences suffisent à perpétuer les espèces. Mais, dans la série animale, l'œuvre, moins simple, exigeait plus de soins et avait besoin d'être dirigée. La délicatesse des germes imposait une élaboration interne, à l'abri des influences du milieu ambiant. Quand une fécondation fut nécessaire, les êtres,

1. Chez des suppliciés, on a vu les cellules vibratiles se mouvoir plus de quarante-huit heures après la mort et l'on a constaté le même fait sur des grenouilles mortes depuis plusieurs semaines et à demi putréfiées.

libres de se mouvoir, durent être aiguillonnés par le besoin, amenés à se chercher par un attrait réciproque et disposés à s'unir par la séduction de plaisirs partagés. Il fallait en outre que, guidés par l'instinct, ils sussent préserver les produits de la génération et les déposer dans des conditions propices à leur développement. A mesure que, par suite d'une complication graduelle, les germes se trouvèrent à la fois moins nombreux et plus exposés, les soins à donner se multiplièrent et devinrent intelligents. Les vertébrés apprirent alors à construire des abris, à provoquer l'éclosion des œufs, à allaiter les petits nés vivants, enfin à les élever avec sollicitude durant une débile enfance. La somme d'activité psychique indispensable au succès de l'œuvre s'est progressivement accrue jusqu'à comprendre chez l'homme l'amour avec ses effets si divers, la famille et ses innombrables liens. Supprimez un seul de ces éléments, l'appétit sexuel, l'amorce de la volupté, la force de la passion, les divinations de l'instinct, l'abnégation des mères, la part même d'illusion et d'idéal qui, pour des êtres doués de raison, dissimule la brutalité de la fonction, et la conservation de l'espèce, à laquelle ne présideront plus que l'accident et le hasard, cessera d'être assurée.

Grâce à l'empire qu'il exerce, le système nerveux est le modificateur le plus puissant de l'organisme. On pourrait presque dire qu'il le façonne et le transforme. Dès le début de la phase embryonnaire, il en marque le trait initial, ébauche le plan de structure, met en action le point pulsatile qui sera un cœur et semble modeler la forme par les rapports qu'il établit entre les organes. C'est lui qui les associe, les coordonne, les meut et les règle. Par suite, chaque variation de l'activité psychique a son contre-coup dans quelque fonction physiologique. Cl. Bernard a montré l'intime relation qui unit le cerveau et le cœur, c'est-à-dire « le plus sensible des organes de la vie animale et le plus sensible des organes de la vie végétative »

Physiologie du cœur). Les passions influent puissamment sur l'organisme : la joie exalte, la crainte déprime, la terreur paralyse, la colère excite. Une émotion fugitive, l'effort de la pensée, la tension de la volonté, se répercutent en divers sens, provoquent ou arrêtent les sécrétions et retentissent dans la profondeur des organes. L'esprit fait la force ou la faiblesse du corps. Il est la cause la plus ordinaire de son salut ou de sa ruine. « Démocrite disait que si le corps mettait l'âme en procès et l'appelait en justice en matière de réparation de dommage, jamais elle ne se sauverait qu'elle ne fût condamnée en l'amende. » (Plutarque, *Œuvres morales, règles et préceptes de santé*.) L'être intellectuel vit aux dépens de l'être organique, l'exploite et trop souvent le surmène. Il détourne à son profit la meilleure part de la substance et de la force du corps. C'est au foyer de l'activité psychique que les éléments matériels, subtilisés, s'évaporent et se dissipent le plus rapidement. Pareils à des flambeaux qui brillent un instant dans les ténèbres, nous nous consomons pour produire un peu de lumière. L'esprit est ingrat : il use le corps et l'épuise par son activité prodigue, puis se plaint avec amertume de ce que l'affaiblissement des organes lui impose un déclin et un terme alors que, par ses profusions de vitalité, c'est lui qui débilité l'organisme et l'expose à une fin prématurée. Les hommes ne périssent point, comme on l'imagine, de maladie ou d'accident, mais bien de soucis et de chagrin, d'excès, de sottise ou d'inconduite. « Ils ne meurent pas, ils se tuent », dit énergiquement Buffon. Une vie réglée, des passions sages, une prudence toujours en éveil, une moralité sûre d'elle-même, voilà ce qui peut le mieux nous assurer de longs jours. Les anciens avaient pour maxime que « l'âme est saine dans un corps sain¹ » ; il serait non moins exact de

. 1. « Mens sana in corpore sano. »

(Juvénal, sat. X, v. 356.)

dire que « les âmes saines font les corps sains » et cela aiderait à comprendre pourquoi il y a tant de malades. Selon Descartes, le plus puissant remède que l'homme puisse s'appliquer est l'influence de l'état de l'âme sur l'état du corps, de telle sorte que l'empire de la volonté s'étend jusque sur la santé et qu'il dépend de nous de guérir notre corps après avoir guéri notre âme (*Lettre à la princesse Élisabeth*). Pour parler comme Bossuet, une âme vaillante est maîtresse du corps qu'elle anime et en fait ce qu'elle veut.

Ainsi, les fonctions somatiques et les fonctions psychiques, unies par d'indissolubles liens, ne peuvent être séparées que par un artifice d'analyse. L'activité physiologique des organes et l'innervation sont corrélatives, condition l'une de l'autre. Ni l'esprit ne pourrait s'exercer sans corps, ni le corps vivre sans esprit¹. Ils forment, au dire de Bossuet lui-même, « un tout naturel dont toutes les parties ont une parfaite et nécessaire communication. » La science entrevoit l'unité future de la Physiologie et de la Psychologie, indiquée déjà par Aristote et nettement formulée par Thomas d'Aquin². « Le premier résultat de la loi de continuité, d'après H. Spencer, c'est qu'entre les faits physiologiques et les faits psychologiques il n'y a point de ligne précise de démarcation et que toute distinction absolue est illusoire. Sensations, sentiments, instincts, intelligence, tout cela constitue un monde à part, mais qui sort de la vie animale, qui y plonge ses racines et en est comme l'efflorescence. Entre la fonction la plus

1. « Coïtu conjugioque
Corporis atque animæ consistimus uniter apti. »
(Lucrèce, III, v. 857.)

2. « Impossibile est in uno homine esse pluras animas per essentialiam differentes, sed una tantum est anima quæ vegetativo et sensitivo officiis fungitur ». (Cité par G. Lewes, *Histoire de la philosophie*, t. II.)

humble et la pensée la plus haute, il n'y a pas opposition de nature, mais différence de degré, chacune n'étant qu'une des innombrables manifestations de la vie. » (Ribot, *Psychologie anglaise contemporaine*, p. 176.)

Il faut revenir à la notion de l'unité des êtres, si mal à propos scindée par les philosophes grecs. L'antinomie rêvée entre des principes opposés, irréductibles l'un à l'autre, est une conception métaphysique, une abstraction que la réalité dément. Il n'y a pas en nous deux êtres différents, une âme et un corps, accouplés on ne sait comment, ni où, ni quand, ni pourquoi ; l'homme est un et ses deux moitiés fictives, si on les pouvait disjoindre, ne pourraient plus subsister¹. Rompre leur union, c'est anéantir du même coup la nature des choses et la logique de l'esprit humain. Ces termes réputés contraires s'impliquent l'un l'autre et montrent sous deux aspects dissemblables une même réalité². La définition de l'esprit est incomplète tant qu'on n'y fait pas entrer ce fait essentiel qu'il est toujours uni à un corps, et, de même, celle de la matière tant qu'on ne mentionne pas ce fait non moins essentiel que, dans certaines conditions, elle manifeste un esprit. L'identité des deux principes ressort de leur solidarité constante, de leur indissoluble union, de leur origine et de leur fin communes, de leur aptitude à se transmettre ensemble par la génération. Loin qu'il y ait entre eux opposition et dualisme, il y a harmonie et unité. Ils représentent les deux faces de l'être vu tantôt objectivement et par le dehors, tantôt subjectivement et du dedans. La pensée exprime l'organisme, elle en est l'aspect interne, comme l'organisme suggère la pensée, en montre

1. « La matière sans l'esprit, l'esprit sans la matière ne sauraient ni exister ni agir. » (Goethe.)

2. Ainsi, dit Fechner (*Psychophysique*) une surface sphérique paraît concave à l'intérieur et convexe au dehors ; ainsi encore l'apparence du système solaire diffère suivant qu'on l'examine de la Terre (système de Ptolémée) ou du Soleil (système de Copernic).

l'aspect externe. Nous ne sommes pas des intelligences servies ou asservies par des organes, mais bien des organismes intelligents. « L'homme, dit Pascal, n'est ni ange ni bête et le malheur veut que qui veut faire l'ange fait la bête » (*Pensées*, t. I, p. 100). Avant Pascal, Balzac avait écrit : « L'homme est fait d'un Dieu et d'une bête qui sont attachés ensemble » (*Socrate chrétien*, fin). Attachés n'est pas assez dire ; confondus serait plus exact. Le Dieu et la bête ne font qu'un.

La résultante finale de ce consensus des fonctions est la production d'êtres individuels, c'est-à-dire d'unités indivisibles (« *in-dividuus* ») constituées par une concomitance d'actions qui tendent toutes au même but. L'individualité a d'autant plus de grandeur et de puissance que les fonctions sont plus diverses et mieux ordonnées. Indistincte dans les substances amorphes et presque nominale pour les corps bruts, elle se fonde, pour les organismes, sur des distinctions d'organes et des correspondances de fonctions dont la vie résume l'accord. Ce lien néanmoins reste assez lâche là où l'organicisme domine, comme chez les plantes et les animaux inférieurs. Mais lorsque, aux fonctions somatiques se joignent des fonctions psychiques, la personnalité, acquérant un pouvoir d'initiative et d'autonomie, se manifeste avec éclat. La conscience et la volonté donnent aux organismes animés une sorte d'unité idéale qui persiste à travers la suite entière de leurs changements. Ce sont des êtres dans l'acceptation la plus élevée du mot.

II. — PRAXÉOLOGIE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DES FONCTIONS

THÉORIE DES CORRÉLATIONS D'ENSEMBLE OU DES LOIS DE FONCTIONNEMENT

Il nous reste à scruter les rapports des modes d'activité, non plus dans un être, mais dans les séries ou dans la totalité des êtres, et à formuler les lois de l'universel fonctionnement des choses. Cette étude est l'objet de la Praxéologie générale.

En matière de fonctions, les lois doivent indiquer les directions où les faits se développent, la courbe suivant laquelle leur processus s'accomplit. Si grandes que soient les variations de détail, ces phénomènes dépendent de conditions communes, obéissent à des règles fixes qu'il importe de mettre en lumière. Dégager de la multiplicité des actes l'uniformité des tendances, voilà le problème dont la solution est nécessaire à l'achèvement de la science. Longtemps il a passé pour insoluble, et le terrain où les théories seraient tenues de s'établir semblait être le domaine réservé de la théologie et de la métaphysique. La science positive le revendique aujourd'hui et entreprend de l'explorer. Essayons de pressentir ce que pourront être ses généralisations, en nous bornant à des indications sommaires, parce que, sur ce point, les vérités sont plutôt entrevues que démontrées.

Chacune des deux classes de fonctions a sa loi distincte, et, tandis que le somatisme suit une loi d'évolution, le

psychisme se développe par une loi de progression.
Examinons-les séparément.

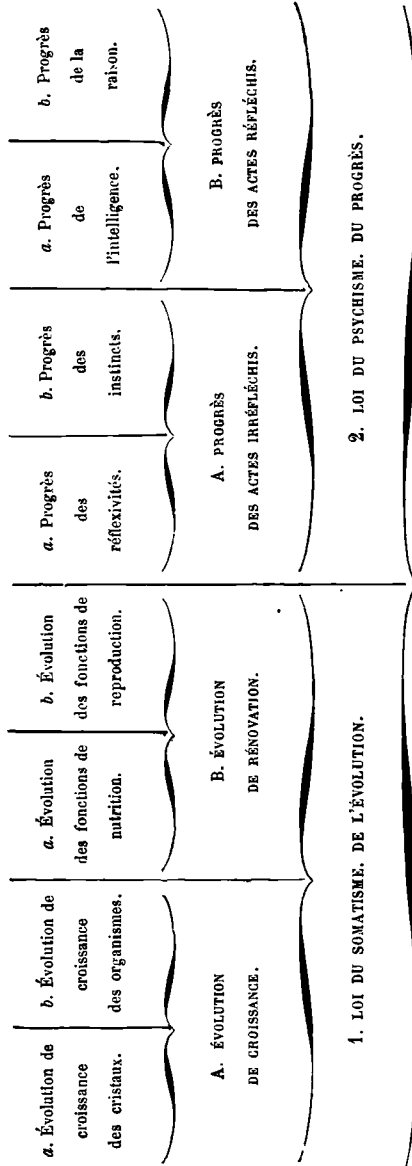
1. — LOI GÉNÉRALE DU SOMATISME. DE L'ÉVOLUTION

Tous les corps qui ont une structure définie évoluent, c'est-à-dire éprouvent une suite de changements dont l'ordre est déterminé par une loi. Les fonctions dont ils s'acquittent les font passer, durant le cours de leur existence, du simple au composé, de l'uniforme au multiforme ou, selon la formule de Von Baer, de l'homogène à l'hétérogène, puis, par une marche inverse, les ramènent par degrés à une condition de simplicité qui, supprimant leurs caractères individuels, les condamne à disparaître. On a ainsi une succession de phases qui font parcourir aux êtres un cercle fermé (évolution, de *e volvere*, dérouler). C'est une gradation du moins au plus, suivie d'une régression du plus au moins. L'évolution a pour trait essentiel d'être limitée dans son développement. Elle implique des stades parmi lesquels on distingue : une phase ascendante, pendant laquelle l'activité fonctionnelle gagne et se déploie ; une phase stationnaire, où sa condition se maintient un temps ; enfin une phase descendante, où elle perd et tend à cesser.

L'idée d'une loi pareille dominant l'ordre entier des faits somatiques n'est pas ancienne dans la science. Jusqu'au XIX^e siècle, on ne l'admettait que pour les individus vivants où elle apparaît avec évidence, par suite de la multitude des exemples et de la brièveté des intervalles de durée. Lamarck (*Philosophie zoologique*, 1809) et Darwin (*Origine des espèces*, 1859) en ont étendu l'application aux espèces. Des généralisations excessives, dépassant le but, ont même prétendu faire rentrer dans la loi d'évolution l'ordre intégral de l'univers. Ainsi H. Spencer voit un fait

PRAXÉOLOGIE GÉNÉRALE

SCIENCE DES LOIS DE FONCTION



LOI D'UNIVERSELLE ACTIVITÉ.

d'évolution dans les phénomènes cosmiques. C'est aller, par une extension abusive de sens, à une confusion d'idées. Il conviendrait, croyons-nous, de réserver le terme d'évolution pour désigner le cycle des changements que les fonctions somatiques font subir aux corps, sauf à créer un autre mot, s'il est nécessaire, pour indiquer l'universelle résultante des actions dont les astres sont le produit. Le langage scientifique, dont la précision fait la clarté, doit éviter avec soin ces termes vagues et ambigus qui, s'appliquant à tout, finissent par ne plus convenir à rien.

Voyons comment la loi d'évolution régit, d'une part, les fonctions de croissance, de l'autre, les fonctions régénératrices, enfin les deux réunies.

A. — Évolution de croissance.

C'est dans les faits de croissance que la loi d'évolution se constate le plus aisément. Aussi donne-t-on souvent à la propriété générale qui les détermine le nom d'« évolutivité ». Mais c'est restreindre indûment le sens du mot évolution qui doit comprendre les faits de rénovation au même titre que ceux d'accroissement. Le terme d'« accrescence » serait peut-être préférable à celui d'évolutivité dans l'acception bornée où d'ordinaire on le prend. L'évolution de croissance fait passer les éléments des formes de l'état de dispersion et d'incohérence à l'état de coordination et de système, développe leurs agrégats à partir d'un rudiment initial de structure jusqu'à parfaite réalisation du type, les maintient alors plus ou moins longtemps, puis les amène à décroître et finalement à se défaire. Cette loi, dont la Physiologie a le tort de limiter les applications aux êtres vivants, régit l'empire entier des formes dans des conditions qui, très simples pour les

corps bruts, atteignent chez les organismes divers degrés de complexité.

a. — L'évolution des cristaux se compose de trois phases nettement tranchées, l'une d'accroissement, l'autre de stabilité, la dernière de décroissement.

Pour les anorganismes, la croissance se réduit à une augmentation de volume sans changement de type (sauf les cas de polymorphisme), jusqu'à un état de grandeur normale, d'ordinaire assez bornée, qu'ils ne dépassent que par exception.

Parvenus à ce point, les cristaux s'immobilisent et entrent dans une phase de permanence indéfinie tant que les variations du milieu n'excèdent pas des limites déterminées.

Dans le cas contraire, elles entraînent la disgrégation des éléments dont se composent les corps bruts et, par suite, la disparition de leur forme.

Quant à la durée de ces phases, elle dépend des circonstances. La prise et la destruction des cristaux sont lentes ou rapides suivant l'intensité des actions dont ils subissent l'influence. Leur persistance est aussi relative et n'a rien de fixe. Tandis que les corps enfouis dans les couches du globe, à l'abri de toute cause de mutation, jouissent d'une sorte de pérennité, ceux qui occupent la surface de la terre, en contact avec des milieux variables et sans cesse troublés par eux, accomplissent parfois dans un temps très court leur cycle d'évolution. Une saison, souvent quelques jours ou même quelques heures, voient des masses considérables d'eau se congeler et se fondre alternativement.

b. — Les corps vivants suivent, dans leur évolution de croissance, un ordre plus complexe et mieux défini.

Au début, le travail d'accroissement des organismes est très actif. Il se ralentit ensuite et finit par s'arrêter, sauf

dans certaines classes d'êtres où il dure autant que la vie; mais alors il s'atténue de plus en plus, ce qui le ramène à la loi. En outre, il ne se borne pas à développer la grandeur; il modifie aussi le type, et les transformations qu'éprouvent les êtres vivants durant la phase d'accroissance les conduisent de la condition de germes informes à celle d'organismes composés.

Chez les corps vivants, la phase intermédiaire de stabilité n'a pas de limites virtuellement aussi étendues que chez les corps bruts. La permanence de ceux-ci tient à leur immutabilité conditionnelle; celle des seconds doit se concilier avec une incessante mutabilité. Elle résulte d'un ordre essentiellement précaire et qui, loin de persister par lui-même, tend plutôt à prendre fin.

Si l'on compare la durée de cette période à celle de l'accroissement, sa brièveté paraît en rapport avec la perfection des organismes. L'homme croît avec lenteur, ne se maintient qu'un temps assez court et décline vite. Ces trois phases se partagent à peu près également son existence.

Enfin, tandis que la décroissance et la destruction sont accidentelles pour les cristaux, elles sont normales pour les organismes et assignent un terme à leur longévité possible.

Ainsi, malgré la disparité des conditions, une même loi régit l'ensemble des corps. Apparaître, croître, persister un temps, puis décroître et disparaître, voilà le cycle évolutif que, au point de vue de ses dimensions dans l'espace, toute forme doit logiquement parcourir.

B. — Évolution de rénovation.

Les fonctions spéciales par lesquelles les êtres vivants renouvellent leur substance ou régénèrent leur type obéis-

sent aussi à des lois d'évolution. Seulement, l'ordre qu'elles suivent, au lieu de se réduire à des phases d'accroissement et de décroissance, séparées par une phase de stabilité, semble résulter d'une combinaison de ces effets qui, successifs dans un cas, sont simultanés dans l'autre. La conservation de la vie, en effet, implique une balance entre les déperditions et les réparations de substance pour les individus, comme entre les disparitions et les reproductions d'individus pour les espèces. Examinons, dans ces deux ordres de faits, l'évolution des fonctions rénovatrices.

a. — La conservation des corps bruts, due à la persistance de la cohésion, n'est pas constituée en fonction distincte ni conséquemment soumise à la loi d'évolution. Celle des corps vivants, altérables et obligés de renouveler leur substance, se spécialise en actes trophiques dont l'ordre est soumis à des lois.

Théoriquement, la règle de la nutrition serait une équivalence constante des gains et des pertes ; mais la fonction n'a pas, à tous les âges de la vie, cette uniformité rigoureuse. Tantôt l'assimilation l'emporte ; tantôt elle égale à peu près la désassimilation ; tantôt celle-ci devient prépondérante à son tour. Par suite, l'existence des organismes se divise en trois phases : l'une où la nutrition, très active et surabondante, détermine l'accroissement ; l'autre où, ralentie, elle suffit encore à réparer les déperditions de substance ; la dernière où, s'atténuant davantage, elle n'y peut plus parvenir et aboutit à une fin inévitable, parce que l'usure des tissus s'opère plus vite que leur réfection. La première correspond à l'enfance, la seconde à l'âge adulte, la troisième à la vieillesse. Le mouvement vital tend ainsi à s'arrêter par l'effet des résistances qu'il rencontre et, astreint à recomposer sans cesse un corps qui se décompose sans cesse, il s'épuise à la longue par la continuité de l'effort. Incapable de se maintenir dans un état fixe, l'or-

ganisme porte dans son activité même un principe de destruction. La mort, conséquence nécessaire d'une condition pareille, est la borne naturelle et pour ainsi dire la suprême fonction de la vie, ou plutôt elle est inséparable de la vie elle-même. Elle commence son œuvre dès la naissance (« *nascentes morimur* »), et, au terme d'une existence qu'on peut appeler une mort lente, « nous finissons moins de vivre que nous n'achevons de mourir » (Buffon). Notre mortalité résulte de l'état instable d'une construction ébranlée par des accidents sans nombre, exposée à des détériorations continuelles, tenue à des réparations de plus en plus difficiles, et finalement condamnée à tomber en ruines.

b. — Cette loi, si dure à l'homme qui seul a conscience de la subir, est pour les espèces un principe d'évolution. Si, en effet, la reproductivité, considérée comme fonction individuelle, parcourt, avec une intensité décroissante, le même cycle que la nutritivité dont elle dépend, comme fonction de série elle donne à l'espèce le pouvoir de durer, de croître et d'évoluer. La multiplication des êtres et leur expansion dans l'espace sont pour elle une croissance, leur diminution un déclin et leur disparition totale une mort. Ainsi appelée à se développer dans des conditions variables, l'espèce se transforme avec le temps. A l'hypothèse de l'immutabilité des types, admise par Cuvier à la suite de Linné, il faut désormais substituer la théorie moins étroite du transformisme, qui tient les formes réputées fixes pour les stades transitoires d'une métamorphose continue. Deux influences agissent ici concurremment : l'une intime et conservatrice, l'hérédité ou tradition organique, qui détermine la ressemblance des êtres et tend à perpétuer le type ; l'autre externe et modificatrice, l'adaptation, qui détermine la dissemblance et entraîne des variations. La première représente la somme des actions exercées par le milieu sur la suite des ascen-

dants. Comme elle devient d'autant plus puissante qu'elle a plus duré, elle constitue pour les espèces une cause de stabilité. Néanmoins, la transmission n'est jamais complète ni la ressemblance absolue. Il n'y a pas d'identiques dans le monde des formes vivantes et le générateur reproduit plutôt son analogue que son semblable. De là résulte un principe de mutabilité qui se lie à la complexité même de la structure, mais qui, pour se développer, réclame des circonstances propices. Tant que les conditions du milieu restent les mêmes, l'hérédité prévaut et assure, entre certaines limites, la permanence du type; mais, quand ces conditions viennent à changer, la variabilité trouve à se déployer en divers sens et l'adaptation plie le type à des exigences nouvelles. Alors intervient la sélection naturelle, effet de concurrence vitale qui s'explique par la surabondance des germes et le nombre restreint de ceux qui trouvent à se développer. La disproportion entre la quantité des êtres que la génération appelle à vivre et celle des éléments disponibles de subsistance, met pour ainsi dire la vie au concours et l'avantage reste au mieux armé pour la lutte. Enfin, la sélection sexuelle contribue à diriger les variations par le choix des reproducteurs. Sous ces influences diverses, les types sont amenés à se modifier de plus en plus. Des particularités d'abord individuelles, puis héréditaires, produisent des variétés qui se fixent en races et finissent par former des espèces distinctes. Cette évolution des types s'accomplit tantôt avec lenteur et par degrés insensibles, tantôt rapidement et par sauts (« *saltatory evolution* » de Dall). Il y a des « phases critiques » où le mouvement de transformation s'accélère, comme on le voit chez les insectes. La mutabilité des êtres vivants, qui contraste d'une manière si frappante avec l'uniformité des types inorganiques, tient à ce que les premiers procèdent les uns des autres, dans des conditions sans cesse modifiées, tandis que les corps bruts résultent

d'une autogenèse dont les conditions sont invariables.

Toutefois la loi d'évolution, manifeste pour les individus, par suite de la brièveté de leurs phases, n'est pas encore universellement reçue à l'égard des séries, dont les changements exigent un laps indéterminé de durée et ne peuvent être établies que par induction. C'est pourtant la même cause qui agit dans les deux cas et il semble peu logique de l'exclure dans l'un quand on est forcé de l'admettre dans l'autre. L'évolution des espèces n'a rien de plus surprenant que celle des êtres et la seconde n'est même qu'une récapitulation rapide de la première. Les différents états qu'un organisme traverse quand de l'état d'ovule uni cellulaire il passe à celui d'adulte parfait, reproduisent en raccourci la suite des transformations que ses ancêtres ont subies depuis l'origine de la vie jusqu'à la constitution de son type d'espèce. Ces métamorphoses qui, dans les embranchements inférieurs, remplissent l'existence des êtres, se bornent, pour les groupes supérieurs, à une série de mutations contenues dans la période embryonnaire. Durant la phase qui sépare sa conception de sa naissance, l'homme répète les progrès accomplis dans le cours des âges, et la production d'un seul être est le résumé de l'universelle création.

On voit ce que pourrait être la formule intégrale de l'évolution des corps. En ce qui concerne les cristaux, la loi, réduite à ses termes les plus simples, comprend une phase d'accroissement, une phase de permanence et une phase de décroissement, dont la durée dépend de circonstances éventuelles. Les organismes, soumis à des lois plus complexes, doivent simultanément accomplir les deux évolutions de croissance et de renouvellement. Leur vitalité subit dans l'une et dans l'autre une atténuation graduelle et la courbe qu'ils décrivent serait comparable à une trajectoire. Comme les projectiles mus par

une force brusque, les êtres lancés dans la vie ont au départ leur maximum de puissance évolutive. Ils la perdent ensuite peu à peu à surmonter des résistances et leur course finit quand elle se trouve épuisée. La vie tend à la mort comme le mouvement à l'équilibre.

2. — LOI GÉNÉRALE DU PSYCHISME. DU PROGRÈS

La loi de progression diffère de la précédente et doit en être distinguée. — L'évolution des fonctions somatiques, toujours bornée, a un commencement et un terme, tend à un but et, ce but atteint, s'arrête. Ce même cycle, parcouru par des générations successives, ramène les mêmes faits dans le même ordre. Enfin, le processus évolutif a quelque chose d'irrésistible et de fatal. Sa direction nous échappe, sa vitesse nous emporte, et nous pouvons peu de chose sur ses effets, comme le montre notre impuissance à devenir forts quand nous sommes faibles, sains quand nous sommes malades, à rajeunir quand la vieillesse nous accable ou à retarder l'heure de la mort quand nous serions encore désireux de vivre. — L'ordre des fonctions psychiques admet au contraire, avec une latitude indéfinie de développements, l'initiative d'un pouvoir recteur et une part croissante d'autonomie. Nous avons vu que le système nerveux se caractérise par la propriété d'emmagasiner en lui de la force et de produire une somme toujours plus grande d'effets. C'est un mécanisme qui, au lieu de s'user comme les autres, se perfectionne en agissant. Son jeu devient d'autant plus rapide, puissant et varié qu'il s'est répété plus souvent. La plasticité interne de cet appareil le modifie et l'améliore sous l'influence de l'habitude et de l'hérédité. Des fonctions dont les résultats s'accumulent doivent nécessairement suivre une loi de progression. Il faut admettre pour les facultés psychiques un attribut de « perfectibilité » au

même titre que, pour les corps, une propriété d' « évolutivité ». Mais une différence profonde sépare ces deux principes d'action : tandis que l'évolution a une limite et se ralentit à mesure qu'elle s'en rapproche, le progrès s'accomplit sans terme assignable et toujours plus vite. Comme les corps qui tombent, il suit la loi d'une accélération continue. Avec le temps la réflexivité devient plus prompte, l'instinct plus sûr, l'intelligence plus sagace, la raison mieux ordonnée. Tout les instruit, même leurs erreurs, qui les corrigent; tout les sert, même les obstacles, qui les stimulent. L'être doué d'aptitudes psychiques a le privilège de les développer par cela seul qu'il les exerce. Quand elles déclinent, c'est que l'organisme dont elles dépendent leur communique son irrémédiable caducité. Sans cette cause, avec des organes que l'âge n'affaiblirait pas, l'esprit gagnerait sans cesse. C'est une force essentiellement progressive : « *crescit eundo.* »

Il importe donc de ne pas confondre les deux lois d'évolution et de progrès. H. Spencer commet à cet égard une méprise fâcheuse quand il fait rentrer la seconde dans la première (*Premiers principes*, t. I, pp. 370-384). Puisque leurs tendances et leurs conditions sont dissimilaires, il convient de les examiner séparément. L'une décrit avec une vitesse décroissante un cercle fermé; l'autre parcourt avec une vitesse croissante une spirale indéfinie, aux orbites grandissantes. La loi de progression, plus récemment formulée que celle d'évolution, a eu plus de peine à se faire accepter. De nos jours même elle se heurte à des ignorances invétérées et à des préventions tenaces. Les poètes (théorie des quatre âges), les théologiens (dogme de la déchéance) et les philosophes l'ont niée à l'envi. Lucrèce pourtant l'avait pressentie¹. Turgot en

1. *De rerum natura*, lib. V.

« Usus et impigræ simul experientia mentis
Paulatim docuit pedetentim progredientes. »
(*Id.*, v. 1450, 1.)

donna la formule dans deux thèses célèbres¹. Herder² et Cordorcet³ s'en firent les propagateurs. La réalité du progrès est manifeste et généralement admise pour certaines parties de la civilisation telles que l'industrie et les sciences; mais on la conteste dans d'autres, particulièrement en esthétique et en morale. Ici cependant les objections qu'on prétend tirer des faits nous semblent reposer sur une interprétation abusive et sur des malentendus.

Ceux qui nient le progrès dans l'art raisonnent comme si le beau était absolu, à l'égal du vrai démontré, et devait suivre une direction invariable. Or, il est essentiellement multiforme et toujours relatif. Les appréciations du goût sont affaire de culture, d'école, de tradition, d'époque, de race... Dans ces conditions, le progrès résulte pour l'art, d'abord de la diversité même des œuvres, — car sa loi, qui est de « devenir autre en restant conforme à la beauté », l'oblige à innover sans cesse afin de réaliser successivement les aspects sans nombre de l'idéal; — ensuite de la complexité même de ces aspects qui se combinent en se succédant. Le beau se perfectionne et s'achève dans le cours des âges parce que le goût devient plus compréhensif et plus large. Mais la formule de ce progrès, au lieu d'être simple et rectiligne comme pour la science, comporte des régressions passagères, des phases de corruption et de décadence durant lesquelles les renaissances se préparent. L'art avance ainsi sur des courbes et ses apogées sont suivis de déclin. Comme dans un pays de montagnes, il faut descendre après avoir gravi et chercher de cime en cime les plus hauts sommets de l'idéal.

L'indice du progrès moral, non moins contesté, ressort de l'ordre croissant qui règne dans les sociétés hu-

1. *Histoire des progrès de l'esprit humain; — et Deuxième discours sur les progrès de l'esprit humain*, 1750.

2. *Idées sur la philosophie de l'histoire de l'humanité*, 1784.

3. *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*, 1795.

maines, malgré la complication de plus en plus grande des actes et des rapports, car, selon la réflexion de Vauvenargues, « si l'ordre domine après tout dans le genre humain, c'est une preuve que la raison et la vertu y sont les plus forts. » Considérée dans l'ensemble, chez les peuples civilisés, l'activité volontaire se montre toujours plus intense et mieux réglée.

Ainsi la notion du progrès se dégage peu à peu des enseignements de l'Histoire. Ce sera la grande loi de l'avenir. Voyons comment, plus générale que ses initiateurs ne l'ont cru, elle régit d'une part les fonctions psychiques irréflechies, de l'autre les fonctions réflechies.

A. — Progrès des actions psychiques irréflechies.

Dans cette classe d'activités élémentaires où la réflexion n'intervient à aucun degré, le progrès devait être purement organique et s'accomplir avec une passivité égale à son inconscience. Il s'opère diversement pour les réflexivités et pour les instincts.

α. — Le progrès des actions réflexes est très limité. Il se réduit à modifier le volume et l'état de la substance nerveuse qui, par l'effet même de son fonctionnement, gagne à la fois en quantité et en qualité.

Quant aux centres ganglionnaires dont les fonctions varient peu, ce développement s'effectue avec une lenteur extrême. Cependant, par suite d'un exercice continu, la substance nerveuse a dû s'affiner, devenir plus impressionnable, s'agglomérer en masses, étendre ses ramifications et coordonner ses courants dans le système. Ainsi se sont produits, par le seul effet d'une cause organique, les perfectionnements de l'appareil d'innervation dans la faune inférieure.

Pour les réflexivités du centre cérébro-spinal, le progrès

devait être plus rapide. La répétition des actes donne à ce mécanisme complexe une mobilité si grande, que le moindre effort le met en jeu, et une multitude de mouvements, d'abord difficiles, s'exécutent ensuite avec une facilité croissante, d'une façon automatique, sans exiger chaque fois une volition formelle.

b. — L'instinct, qui meut l'organisme entier, dépend du mode de structure des centres recteurs et son progrès implique une adaptation spéciale du type aux conditions du milieu.

Ceux des instincts que nous avons appelés primaires et qui ont pour objet la satisfaction des nécessités les plus pressantes, sont en général peu progressifs, parce que leur ordre se lie à des besoins et à des ressources également fixes.

Les instincts secondaires, qui établissent des rapports entre les êtres, sont plus sujets à varier. Ainsi, pendant que les instincts nutritifs ont une remarquable stabilité, les instincts sociaux témoignent d'une flexibilité relative et l'homme a pu, sans trop de peine, se soumettre, en les pliant à la domesticité, des animaux naturellement sociaux dont il s'est établi le chef.

Dans la série animale, le progrès continu des instincts a motivé un nombre croissant d'actions, mais avec une irrésistibilité décroissante, parce que les impulsions se neutralisent en se multipliant. Si les développements de ce mode d'activité sont surtout frappants chez les insectes, c'est que nulle faculté supérieure ne trouble en eux son fonctionnement. Il n'a plus la prédominance chez les vertébrés; néanmoins, il gagne alors en surface ce qu'il paraît perdre en profondeur et ses tendances diverses suscitent les mobiles entre lesquels l'intelligence choisit. L'exemple des animaux domestiques et surtout du chien montre que des instincts spéciaux peuvent se produire et se fixer dans certaines races en peu de temps. Chez

l'homme, l'instinct, effacé en apparence, mais puissant en réalité, détermine une foule de penchants, et la force des passions est la preuve de sa grandeur, comme leur nombre de sa variabilité.

Une loi de progression composée unit les deux sortes de fonctions irréfléchies et fait contribuer chacune d'elles à l'avancement de l'autre. D'une part, en effet, les réflexivités ne pouvaient se multiplier ou s'étendre sans devenir corrélatives et susciter des instincts ; de l'autre, le développement de l'instinct rendait plus actif le jeu des actions réflexes et concourait à perfectionner le mécanisme nerveux.

B. — Progrès des actions psychiques réfléchies.

Autant le progrès des actes irréfléchis est lent et borné parce que, s'opérant sans conscience et sans volonté, il n'a pour cause qu'un concert d'effets dont la direction échappe, autant celui des actes réfléchis a d'extension et de vitesse parce que, conscient et voulu, il relève surtout de l'agent. Les êtres doués de facultés autonomes connaissent leur but, choisissent leur voie, règlent leur marche et vont d'eux-mêmes au progrès au lieu de s'y laisser traîner. Voyons comment cette loi s'applique à l'intelligence et à la raison.

a. — L'animal intelligent est éduicable, c'est-à-dire perfectible. Ajoutant aux clartés natives de l'instinct les lumières acquises de l'expérience, il combine ses actes en vue d'une fin et s'instruit par ses revers non moins que par ses succès. Tant qu'il agit avec réflexion, il gagne en sagacité ou en prudence. Toutefois, sa capacité de progrès est restreinte encore, parce que ses gains restent personnels. Chaque être doit recommencer pour son propre compte

le même travail et le temps lui manque pour aller loin.

Cependant, tout ne disparaît pas avec les individus et ils lèguent à leurs descendants, à défaut des résultats particuliers de leur expérience, des aptitudes intellectuelles de plus en plus développées. Le progrès des facultés est visible dans la série des vertébrés et spécialement dans le groupe des mammifères ; mais on a la mesure de sa lenteur par l'immense durée qu'a remplie l'évolution de ces types. Dans de telles conditions, l'intelligence constitue une sorte d'instinct supérieur qui se lie, comme les autres, à la structure et dépend surtout de l'hérédité.

b. — La raison seule progresse rapidement et sans terme. Son attribut caractéristique est une perfectibilité indéfinie. Elle tend au mieux en toute chose : « *inclinat in melius.* » Au rebours de l'intelligence dont les gains sont individuels et qui se réduit pour l'espèce à une prédisposition native, la raison met ses progrès en commun, les répand et les perpétue par tradition, enrichit chaque génération nouvelle de tout ce que les générations antérieures ont trouvé de meilleur et donne ainsi à l'espèce une éducation à la fois générale et continue. Comme tous les hommes y prennent part et que, dans l'humanité, le nombre des morts excède de plus en plus celui des vivants, l'influence du passé augmente sans cesse, domine notre présent et revit en lui. Sous le nom de « civilisation » se forme un patrimoine graduellement accru de bien-être, de bonheur, de goût, de savoir, de moralité, d'institutions. Par le travail qu'elle accomplit sur elle-même, la race humaine a transformé sa condition d'existence pendant qu'autour d'elle les familles les plus intelligentes d'animaux sauvages demeuraient stationnaires. Au point de vue de la progressivité, il y aurait lieu de distinguer deux phases de civilisation.

Dans l'état rudimentaire que représentent la sauvagerie et la barbarie, le progrès est très lent, presque insen-

sible. Les groupes humains, séparés par des obstacles géographiques ou des préventions ethniques, avancent péniblement, chacun à part. Les parties du monde s'ignorent. L'ancien continent ne sait pas que le nouveau existe et, pendant des milliers d'années, à l'occident et à l'orient de l'Asie, deux systèmes de civilisation se développent sans rien emprunter l'un à l'autre.

Sous l'influence de la civilisation supérieure, le progrès se développe et précipite son cours. Les peuples policés, unis par des relations de tout genre, belliqueuses ou pacifiques, échangent leurs éléments de richesse, leurs inventions, leurs arts, leurs idées, leurs lois et tendent à l'unité. De là résulte pour eux une cause de transformation si active qu'ils se modifient en quelques années plus que ne font les sauvages ou les barbares durant une suite de siècles. En somme, le progrès s'effectue d'autant plus vite que le fonds antérieur est plus riche, parce que chaque progrès acquis en suscite de nouveaux, et que les communications sont plus faciles entre les hommes, parce que le gain de chacun devient plus promptement le gain de tous.

Au reste, la loi du progrès est écrite dans l'organisation même du cerveau humain qui croît et se perfectionne avec le temps. De notables différences distinguent à cet égard les diverses races dont les moyennes craniométriques accusent, au profit des supérieures, une inégalité en volume de plus de 150 centimètres cubes (Broca). « Le cerveau humain est un registre organisé d'expériences infiniment nombreuses éprouvées durant l'évolution de la vie ou plutôt de cette série d'expériences qui a été traversée avant d'arriver à l'organisme humain. Les effets de ces expériences les plus uniformes et les plus fréquentes ont été légués, intérêt et capital, et ont atteint lentement le degré de haute intelligence qui est à l'état latent dans le cerveau de l'enfant. L'enfant, dans sa vie ultérieure, l'exerce et peut-être en augmente la force ou la complexité, et la lègue avec de petites additions aux générations futures. Ainsi il arrive que l'Européen

hérite vingt ou trente pouces de cerveau de plus que le Papou. » (H. Spencer, *Principes de psychologie*, IV^e partie, ch. 7.) Si, de plus, on compare les parties antérieure et postérieure du cerveau, on voit que la première, investie des plus hautes fonctions, s'est notablement accrue, car les populations préhistoriques ont en général, comme les sauvages actuels, le front fuyant, tandis que les civilisés l'ont proéminent.

Les deux modes de l'activité réfléchie réagissant l'un sur l'autre, se prêtent de mutuels secours et progressent de concert. L'intelligence se fait l'exécutrice de la raison et la raison lui ouvre un champ indéfini d'activité.

Une même loi de progression régit donc l'ensemble des fonctions psychiques et sa formule devrait exprimer une puissance et une accélération croissantes. Le changement est surtout organique pour les actes irréfléchis et particulièrement idéal pour les actes réfléchis. Il consiste, pour les premiers, en perfectionnements de la substance ou de la conformation de l'appareil nerveux qui rendent son mécanisme plus complexe et plus aisé; pour les seconds, en résultats accumulés d'éducation personnelle ou de civilisation transmise. Ainsi le progrès s'opère à la fois dans l'organe et dans la fonction. D'une part, le jeu des réflexivités et des instincts provoque l'éveil des facultés supérieures et leur procure des facilités d'action; de l'autre, l'exercice des facultés réfléchies assouplit l'organisme, le spiritualise et l'applique à des fins plus hautes. C'est parce que les animaux sauvages et les peuples non policés manquent de cette préparation nécessaire qu'on les trouve si peu capables d'éducation et de culture. Ce qu'il y a dans l'homme d'inné, d'instinctif, et ce que l'expérience y ajoute d'acquis, de traditionnel, compose un double fonds dont la richesse va toujours en augmentant.

L'ordre que suit le développement des aptitudes psy-

chiques soit dans les êtres, soit dans leurs séries, est une preuve éclatante de la loi de progression qui les conduit par degrés de la cécité à la clairvoyance, de l'automatisme à l'autonomie. Le monde des esprits gravite vers le progrès. Leur activité est « une variable toujours en mouvement vers le mieux et pour ainsi dire courant en avant d'une course éternelle » (A. Fouillée, *L'idée moderne du droit*). Pour eux, suivant l'expression de Bossuet qui résume tout, « la perfection est la raison d'être ». Cette loi, dont l'évidence apparaît surtout dans l'histoire de l'humanité, régit l'ordre entier des faits psychiques, sans qu'on puisse encore lui assigner une formule mathématique.

CONCLUSION. ACCORD UNIVERSEL DES FONCTIONS.
LOI GÉNÉRALE D'ACTIVITÉ

Comme conclusion dernière et résultante suprême des lois qui précèdent, il resterait à établir la loi générale d'activité qui adapte les êtres à leur milieu et les modifie suivant ce que permettent ou exigent les circonstances.

L'évolution qui gouverne les corps et la progression à laquelle obéissent les esprits, loin de se contredire, comme on l'allègue souvent, se concilient et déterminent dans l'ensemble des fonctions un ordre plein de grandeur et d'unité.

Les religions et les philosophies ont insisté plus que de raison sur l'antinomie apparente des deux natures, matérielle et spirituelle, de l'homme, l'une bornée dans ses développements, l'autre indéfinie dans ses aspirations. On se plaît à montrer en lui deux êtres différents, liés par une chaîne comme les anciens forçats et qui marchent rarement d'accord. Les lacunes et les misères de la vie organique, ses nécessités humiliantes, ses appétits grossiers, ses maladies, son déclin sénile, sa mort inévitable, mis en contraste avec les besoins supérieurs de l'activité psy-

chique, les hautes ambitions de l'esprit, ses désirs sans bornes, sa curiosité de connaître, ses rêves de perfection, sa soif d'immortalité, sont un lieu commun de déclamations où triomphe la sophistique. Sans nier les conflits douloureux qu'entraîne dans le détail la dualité de ces lois, il serait, croyons-nous, plus philosophique de montrer leur concordance à la fois naturelle et logique, mieux encore, leur inséparabilité. Puisque les deux moitiés dont l'être animé se compose ne pourraient pas se concevoir indépendantes et isolées, les lois qui les régissent doivent être, non distinctes et opposées, mais connexes et solidaires.

L'évolution des corps rend seule possibles l'existence et le progrès des facultés psychiques par la création d'un appareil spécial inséré dans un organisme et vivant de sa vie. C'est elle qui amène les esprits à la lumière, qui en est la mère et la nourrice. La genèse du système nerveux, la rénovation de sa substance, les forces qu'il met en œuvre, tout lui vient des fonctions somatiques. Cette dépendance a sans doute ses inconvénients et ses charges ; mais elle est d'ordre strict et il faut choisir d'être ainsi ou de n'être pas. Sans le concours d'une activité physiologique, l'activité psychique serait une impossibilité absolue. Or, ce concours implique un organisme qui s'est formé par accroissement, qui se maintient par nutrition et se régénère par reproduction. Le fait d'un esprit qui progresse suppose donc nécessairement le fait préalable d'un organisme qui évolue.

De même, l'organisation animale serait un non-sens si elle n'était animée, car elle ne pourrait vivre et, sans progrès, l'évolution serait bien vite arrêtée. L'innervation, d'abord inconsciente, puis consciente, enfin réfléchie, était indispensable pour coordonner les parties d'un tout complexe, adapter ses fonctions aux exigences du milieu et lui permettre d'évoluer, parmi des difficultés croissantes, jusqu'à son terme normal. L'agent le plus actif du dévelop-

pement somatique, c'est l'esprit qui, modelant la structure, reliant les organes par des réflexivités, stimulant les êtres par l'instinct, les éclairant par l'intelligence, les réglant par la raison, entraîne les corps dans l'orbite de sa perfectibilité.

Par suite du processus inverse des deux ordres de fonctions, l'un, très actif au début, mais en décroissance graduelle, l'autre faible à l'origine, mais en progrès constant, les êtres passent du mécanisme physiologique à l'autonomie psychique et deviennent maîtres d'eux-mêmes, ordonnateurs de leur propre activité. Alors que l'évolution des corps, intense et rapide dans le principe, ralentit ensuite son cours, traverse une phase stationnaire, puis décline et tend à cesser, le progrès psychique, lent d'abord et presque insensible, gagne sans cesse, précipite sa marche avec une sorte de vitesse acquise et finit par tout emporter d'un irrésistible élan. Sans doute l'activité de l'esprit, contenue dans les limites de puissance et de durée de celle du corps et dominée par ses lois, décline à son tour et trouve à la mort son arrêt fatal; mais si cette *nécessité, tourment de la pensée, est un mal pour les individus condamnés à la subir, elle est un bien pour les séries qui continuent, à travers des générations successives, le cycle de leurs progrès, dans des conditions d'ardeur et de diversité que n'aurait jamais pu réaliser une génération impérissable, bornée dans ses aptitudes et vite fatiguée.*

Bien des harmonies résultent de l'alternance des deux classes de fonctions et de la prédominance qu'ont tour à tour dans la vie des êtres l'évolution et le progrès. Ainsi, la lenteur de sa croissance est pour l'homme un principe de perfectibilité. Moins prompt à grandir qu'aucun autre animal, par suite même de la dépense qu'occasionne son activité nerveuse, il est le plus éduicable de tous. Sa faiblesse qui, pendant de longues années, le rattache à la famille dont elle forme le lien, facilite la transmission

des traditions civilisatrices. Si, comme le cheval et le bœuf, il devenait adulte en moins de deux ans, il serait incapable de dépasser le niveau de la plus bestiale sauvagerie. Ainsi encore, lorsque la croissance de l'homme est parvenue à son terme, la nutrition, désormais surabondante, semble consacrer son excédent à produire une vie plus active dans le système nervoso-musculaire qui poursuit son évolution ascendante alors que déjà les organes de la vie végétative ont atteint la borne de leurs développements. Chez les hommes adonnés à des travaux pénibles, le corps n'atteint que vers quarante ans sa pleine vigueur et sa force de résistance à la fatigue. Chez ceux qui se livrent à des occupations intellectuelles, le cerveau continue de croître jusqu'au déclin final des organes. L'expérience acquise compense la faiblesse physique et le soir de la vie est l'âge mûr de la raison. Nous gagnons encore en sagesse alors que chaque jour nous perdons en force, et la vieillesse qui sait a plus de chances de réussir dans ses entreprises que la jeunesse qui croit tout pouvoir.

Des lois analogues régissent les séries d'êtres. Les sociétés humaines constituent de grands corps, animés d'une vitalité propre, qui évoluent et progressent dans le temps. Polybe les a comparées à des organismes qu'on voit successivement naître, croître, fleurir, décliner et prendre fin¹. Ces phases de l'existence des peuples se déroulent avec ordre dans l'histoire et décrivent un cercle déterminé : « *i ricorsi delle cose umane* » (Vico, *Scienza nuova*, Lib. 4 et 5). Sur une courbe de plus grand rayon, l'humanité parcourt une orbite indéfinie. Enfin, le règne animal tout entier obéit à une même loi de fonctionnement et ses divers groupes marchent d'un pas inégal dans une carrière de développement sans terme.

1. « Est cujuslibet corporis aut civitatis naturale aliquod crescendi tempus, dein florem statumque obtinendi ac demum vergendi ad interitum. » (*Fragm.*, édit. Schweinghæuser, lib. VI, cap. 51.)

Les séries les plus vastes d'activités, liées par d'étroites connexions, arrivent à l'unité partielle dans les mondes et à l'unité totale dans l'univers. Nos analyses opposent sans cesse l'inorganique et l'organique ; mais la nature les unit et le premier constitue le milieu vital où s'épanouit le second. Ainsi l'atmosphère fournit aux êtres vivants l'élément respiratoire ; la masse des eaux, des facilités de dilution et d'osmose ; celle des solides, des matériaux de structure et une base de sustentation. C'est dans les forces, humbles et restreintes en apparence, mais prédominantes en réalité, dont les corps bruts sont dépositaires, que réside le principe de l'activité universelle. Les organismes s'approprient une petite part de ce fonds inépuisable de puissance. On pourrait même mesurer l'intensité de la vie et l'importance de ses fonctions par la complexité des rapports que les êtres entretiennent avec le milieu. Les plantes, en raison de la disposition périphérique de leurs organes, subissent passivement ses influences physico-chimiques ; mais les animaux, dont les organes de la vie végétative sont à l'intérieur et ceux de la vie de relation à l'extérieur, dépendent moins directement du milieu, réagissent contre lui et se font à eux-mêmes un milieu vital maintenu stable parmi des causes incessantes de variation. Cl. Bernard a distingué trois sortes de vie qui marquent les degrés de l'action exercée par le milieu sur les organismes : la « vie latente », qui caractérise les germes en arrêt de développement, les animaux réviscents frappés de mort temporaire et les animaux plongés dans le sommeil hibernale ; la « vie oscillante », qui suit l'ordre des saisons et rend les êtres tantôt actifs, tantôt inertes, comme on le voit par l'exemple des végétaux, des invertébrés et des vertébrés à sang froid ; enfin, la « vie constante », propre aux animaux à sang chaud qui, faisant eux-mêmes leur milieu interne, y vivent comme en serre chaude, à l'abri des influences variables du dehors.

De même, les règnes organiques sont unis par des soli-

darités de fonctions. Les plantes, appareils de réduction, accumulent dans leurs tissus, sous forme de composés de carbone, des forces de tension empruntées au Soleil et forment ainsi des réserves de puissance aux dépens desquelles subsistent les animaux. Ceux-ci, comparables à des appareils de combustion, brûlent les composés élaborés par les plantes et dégagent de la chaleur qu'ils convertissent en mouvements. En d'autres termes, la plante emmagasine, l'animal dépense. Ils se comportent, dit M. Tyndall, comme si la première élevait un poids que le second laisserait retomber. Prolétaires du monde vivant, les végétaux produisent plus qu'ils ne consomment; les animaux, aristocratie privilégiée, consomment plus qu'ils ne produisent. Ils usent et détruisent les principes immédiats préparés par les plantes et transforment en travail physiologique ou psychique les forces qui s'y trouvaient contenues. Ainsi le règne animal vit en parasite du règne végétal qui lui-même vit en parasite du règne minéral. Par leurs fonctions moyennes, les plantes sont intermédiaires entre les corps bruts dont elles vivent et les animaux qui vivent d'elles. Ces corrélations hiérarchiques établissent un circuit d'activités tour à tour ascendantes et récurrentes. La vie résulte d'un cycle de transformations parcouru par les substances brutes que les plantes composent et que les animaux décomposent. Si ceux-ci ont la supériorité par le nombre et l'étendue de leurs fonctions, cela tient à ce qu'ils se nourrissent d'éléments déjà organisés, plus riches conséquemment en virtualités dynamiques, tandis que les plantes subsistent de matériaux bruts, plus pauvres en forces disponibles.

On a signalé récemment, entre les deux règnes animal et végétal, de curieuses relations qui montrent jusqu'où peut s'étendre l'action réciproque qu'ils exercent l'un sur l'autre. Dans son ouvrage sur « *Le sens de la couleur chez les animaux* », M. Grant-Allen établit que le perfectionnement de l'organisme végétal a été en partie l'œuvre des

insectes, et que, en retour, ses progrès ont développé chez les animaux le sens et le goût des couleurs. Il est en effet probable que les organes floraux, parure du monde végétal, doivent leur coloris, leurs sucs et leurs propriétés odorantes aux insectes qui les visitent, les fécondent et augmentent en eux, par une sélection continue, ces qualités qui les attirent. Rien de pareil n'existait dans la flore primitive, comme on le voit par les genres qui la rappellent le mieux (fougères, etc.) La beauté de nos fleurs actuelles, l'élégance de leurs formes, l'éclat de leurs couleurs, la suavité de leurs parfums, sont une création de la vie psychique et attestent l'intervention d'êtres animés, car, au point de vue de la botanique pure, cette esthétique n'a pas de sens. Une corrélation analogue existerait entre les fruits et les animaux qui en vivent. On aurait là un exemple d'influences entre-croisées par lesquelles le supérieur, tout en dépendant de l'inférieur, le fait participer à ses progrès :

Enfin, le quatrième règne, le règne humain, fonde sa prééminence sur ses relations avec les trois autres. Il marque le point culminant des fonctions ; mais l'élévation de ce faite est due à la largeur de la base et au nombre des assises qui le supportent. « L'homme, dit Pascal, a rapport à tout ce qu'il connaît. Il a besoin de lieu pour le contenir, de temps pour durer, de mouvement pour vivre, d'éléments pour le composer, de chaleur et d'aliments pour le nourrir, d'air pour respirer. Il voit la lumière, il sent les corps. Enfin, tout tombe sous son alliance. » (*Pensées*, t. I, p. 6.) Il n'est rien qui, à l'occasion, ne puisse agir sur lui de quelque manière, l'impressionner, l'émeouvoir, éveiller son imagination, provoquer sa curiosité, l'inciter à l'action. L'exercice de nos facultés se lie à l'ensemble des phénomènes de la nature, et cela, qu'ils nous offrent un secours ou nous opposent de la résistance, car, selon la virile réflexion de Vauvenargues, « le monde est ce qu'il doit être pour un être actif, c'est-à-dire fertile en

obstacles ». Ainsi, les choses qui ne pensent ni ne veulent influent sur l'être qui pense et veut. La raison est un miroir où se réfléchissent les raisons des choses et qui exprime en art, science ou moralité leur ordre idéal. En nous, la nature, prenant conscience d'elle-même, arrive à sentir et à se connaître. Ses puissances brutes se subordonnent à nos facultés supérieures et réalisent par elles leur plus harmonieux développement, car l'homme uni à la nature peut plus que la nature livrée à sa cécité. Nous sommes dépositaires de l'âme du monde, le cerveau de l'univers. L'idée mère dont s'est inspiré Kart Ritter dans son « *Erdkunde* » est que la Terre constitue le corps de l'humanité et qu'à son tour l'humanité personnifie l'esprit vivant de la Terre. La civilisation est la fleur éclatante de la nature, l'homme le démiurge de la création renouvelée. Les philosophes anciens l'appelaient un « microcosme » dans le « macrocosme », un petit monde dans le grand. Toutefois il n'y a pas deux mondes distincts, celui de la nature et celui de la raison; le vrai, l'unique monde comprend tout et se gouverne par un seul ordre de lois. Une diversité infinie se joue à la surface des choses; mais leur cause est simple comme leur fin, et chaque partie de l'ensemble concourt à son unité.

Les fonctions forment donc un système où tout se tient et concorde. Les activités particulières sont une résultante de l'activité générale qui se réfracte et se détermine en chacune d'elles. On doit considérer chaque être comme le produit d'un consensus d'actions dont les connexités se prolongent à l'infini. Il est un effet nécessaire, une fonction de l'univers. Réunis, tous les êtres constituent l'« Un-tout » (ἓν καὶ πᾶν), sorte de grand être vivant (μέγα ζῶον des stoïciens), dans l'activité duquel tout s'harmonise et, comme le proclamait Hippocrate, conspire à une fin (σύμπνοια πάντα). Une suite sans terme d'actions et de réactions lie les membres de ce grand corps et donne une direction unitaire à toutes les forces qui s'exercent

dans son sein. Leibniz a le premier insisté sur cette grande loi de continuité par laquelle les choses sont unies et, tour à tour causées et causantes, s'enchaînent sans qu'il y ait nulle part arrêt ou intermittence. Une explication monistique de l'univers sera la conclusion de la science, l'expression de l'activité sans bornes et sans trêve qui résulte du principe de la persistance de l'énergie.

La loi qui régit l'universalité des rapports entre les êtres est la plus propre à satisfaire la raison, parce que celle-ci trouve dans l'accord d'un aussi grand nombre d'effets des finalités apparentes où elle croit discerner l'œuvre d'une sagesse dont elle-même se suppose le reflet. Nos langues expriment cette concordance des fonctions par les termes d' « univers », de « cosmos », de « monde », de « nature », qui tous impliquent l'idée d'ordre, d'ornement et d'unité¹. Parvenue à cette hauteur, la pensée ne voit plus des choses que leur majestueux ensemble. L'être infini en qui se résument tous les êtres apparaît alors dans la multiplicité de ses attributs et dans son irréductible simplicité. Mais cette notion grandiose, point le plus élevé que la spéculation puisse atteindre, restera toujours indéterminée, parce que l'inconnu y tient plus de place que le connu. Elle compose le domaine du sentiment religieux, la catégorie de l'idéal. Arrêtée par un éternel mystère, la raison n'a plus le droit d'affirmer ou de nier et ne peut que se prosterner².

1. « Quem *cosmon* græci nomine ornamenti appellaverunt, eum nos a perfecta absolutaque elegantia *mundum*. » (Pline, *Hist. nat.*, II, 3.)

2. « *Melius scitur Deus nesciendo.* » (Saint Augustin, *De ordine*, 2, 16.)

CHAPITRE III

MÉTHODE DE LA PRAXÉOLOGIE. DE LA CONNEXION

Indiquons, pour terminer, la méthode spéciale dont la science des fonctions fait usage dans ses recherches. Quoique les méthodes antérieures lui fournissent d'utiles secours, elle a dû, pour remédier à leur insuffisance, constituer un mode à elle propre d'exploration.

L'intuition constate la réalité des faits de fonction, mais ne révèle rien de leur ordre parce que, si les changements qui s'accomplissent dans les êtres sont manifestes, leur explication est problématique.

La déduction ne serait pas moins impuissante à fonder une science des fonctions en faisant dériver ses vérités d'axiomes par une série de conséquences logiques. Sans doute, tout est question de mesure dans la détermination des faits. La Psychologie elle-même serait tenue d'apprécier des quantités, car, suivant une définition bien profonde de Pythagore, « l'âme est un nombre qui se meut ». Mais l'application des procédés mathématiques aux phénomènes de fonction présente de telles difficultés qu'à peine la Physiologie commence-t-elle à les surmonter. En outre, les relevés numériques établissent un des termes du problème, ils n'en livrent pas la solution.

Observer est également indispensable par cela seul que

les actions et les réactions dynamiques, d'où résulte le fonctionnement, déterminent dans les choses des changements de situation dont il faut tenir compte. Toutefois, si l'on arrive ainsi à connaître les faits de collocation en rapport avec la fonction, la cause qui les coordonne et qui constitue la fonction même n'est pas pour cela mise en lumière. Le simple observateur serait incapable de suivre la marche des phénomènes à travers des entre-croisements d'influences et des transformations d'effets qui déroutent à chaque instant la recherche.

On ne saurait éviter non plus l'emploi de l'expérimentation, car ce moyen d'étude est indispensable pour circonscrire les causes d'action et démêler les influences complexes sous l'empire desquelles les faits se produisent ou se modifient. Par un aveuglement étrange, Cuvier a contesté le pouvoir de l'expérimentation en Physiologie (*Introduction au Règne animal et Lettre à Mertrud*). A. Comte, partageant cette erreur, déclare la méthode expérimentale sans valeur en biologie (*Cours de phil. posit.*, t. III, p. 224). Il serait pourtant impossible de démontrer autrement le mécanisme si compliqué des fonctions et d'en faire mouvoir séparément chaque rouage. Dès le xvii^e siècle, Willis disait plus justement : « Ce n'est que par mort, blessures et dissection que la vérité peut être amenée en pleine lumière, comme par une sorte d'opération césarienne ¹. » C'est au moyen de l'expérience que Harvey a prouvé la circulation du sang, Magendie la distinction des nerfs sensitifs et des nerfs moteurs, Cl. Bernard le rôle glycogénique du foie, etc. On sait l'importance des vivisections pour localiser le jeu des organes. « La Physiologie, dit avec raison M. Huxley, est de toutes les sciences la science expérimentale par excellence » (*Lay sermons*,

1. « Nam aut hac via, scilicet per vulnera et mortes, per anatomiam et quasi cæsareo partu, in lucem prodibit veritas, ant semper labebit. » (*Cerebri anatome*, Préface.)

p. 113). Nous voyons la Psychologie elle-même, si longtemps réduite à l'observation, entrer à son tour dans cette voie. Cl. Bernard a montré comment, à l'aide de certains poisons, il était possible d'analyser les propriétés du système nerveux, et l'on cherche à pénétrer par des expériences méthodiques dans l'obscur dédale des fonctions du cerveau. Puisque toute fonction doit être étudiée en acte, c'est-à-dire en cours de variation, il faut, pour avoir la mesure des influences intercurrentes, les disjoindre et les associer tour à tour dans des conditions déterminées. Néanmoins, la méthode expérimentale ne saurait suffire et ses résultats ont besoin d'être interprétés, car elle montre séparés des phénomènes qui, dans la nature, sont toujours connexes, et ses tendances particularistes la rendent impropre à suivre leurs enchaînements sans fin. Comme, en fait de fonctions, tout se tient, après que l'expérience a taillé, il faut coudre, et l'étude de corrélations multipliées impose un changement de méthode.

Par suite de l'étroit rapport qui unit les combinaisons et les fonctions il est aussi nécessaire de recourir à la méthode d'intégration. Les fonctions, en effet, qu'elles soient somatiques ou psychiques, se lient à des mutations de substance et, dans un monde où l'affinité serait inactive, nulle vie ne pourrait se reproduire. Cependant, les indices tirés de la composition n'ont qu'une signification bornée. Les fonctions ne se réduisent pas à des phénomènes chimiques ; elles impliquent un pouvoir recteur qui coordonne les faits et, ce pouvoir, ni l'analyse, ni la synthèse n'en révèlent les effets. La solution du problème exige un autre moyen d'investigation.

Enfin, la comparaison doit également être mise en œuvre, puisque les fonctions s'accomplissent dans les formes. Chaque condition d'activité se rattache à un état déterminé de structure et, conséquemment, nécessite une application de la méthode comparative. Mais, si la connaissance des formes est une donnée des plus importantes,

elle ne suffit point encore. Il faut de plus constater l'action du milieu et le développement d'influences continuellement variables. La comparaison, qui se borne à confronter des modes fixes de structure, serait donc impuissante à s'acquitter d'une tâche pareille, et l'école positiviste commet une erreur capitale quand elle la regarde comme la méthode propre à la Physiologie (A. Comte, *Cours*, t. III, pp. 239 et 240; et Littré, *La science au point de vue philosophique*, pp. 253 et 432). Cette méprise résulte de la confusion établie par A. Comte entre deux sciences générales distinctes, celle des formes et celle des fonctions, dans l'institution irrationnelle de la biologie. Nous avons indiqué plus haut les raisons qui motivent la disjonction de ces deux catégories de faits et leur attribution à des sciences spéciales. Trop de différences séparent les phénomènes et les moyens d'exploration pour qu'on puisse les confondre. En effet, les formes, tangibles et visibles, sont observables directement; on peut les décrire, les figurer et les classer. Les fonctions, au contraire, n'ont ni forme, ni contour et consistent en groupes de faits qui se lient dans un certain ordre. La puissance qui les détermine ne se manifeste que quand elle agit, et rien ne la révèle quand elle ne s'exerce pas. Il faut donc étudier les formes dans leur condition de permanence, à l'état de types, et les fonctions en cours d'accomplissement et en acte. Par suite, les deux sciences sont astreintes à se servir de moyens dissemblables de recherche. La Morphologie s'applique à défaire les formes pour en scruter le détail et porte ses analyses aussi loin que le permettent le scalpel et le microscope. Elle clive les cristaux et disèque les organismes, opérant de préférence sur des cadavres parce que la vie lui serait un obstacle et non un secours. La Praxéologie procède autrement: elle considère les êtres ou les organes dans leur intégrité plastique et veut savoir comment ils fonctionnent. La première, uniquement attentive à la conformation des choses, fait abs-

traction des milieux. La seconde doit tenir compte à la fois des formes et des milieux, ce qui complique singulièrement le problème. Si donc comparer est obligatoire au même titre qu'analyser, expérimenter, observer, déduire et constater, ce n'est là qu'un moyen d'enquête. Ni séparées ni réunies, ces méthodes ne suffisent. La science des fonctions réclame une méthode particulière, appropriée à ses exigences.

Cette méthode est indiquée par la condition des phénomènes fonctionnels qui résultent de l'action des milieux sur les formes et de la réaction des formes sur les milieux. Chacun de ces termes admet des concours d'influences qui s'entre-croisent et se prolongent à l'infini. D'une part le milieu, composé de toutes les classes de faits mêlées et confondues, détermine des occurrences sans nombre. De l'autre les formes, en raison même de leur structure, portent en elles des forces accumulées, des énergies disponibles, des capacités d'action. La puissance d'activité qui résulte du rapport de ces deux causes est variable comme elles et, tour à tour excitée et retenue, accélérée et ralentie, s'exerce ou se repose suivant de mystérieuses lois. Elle modifie incessamment les fonctions sous des influences qui diffèrent selon les êtres, les lieux, les temps et les circonstances. Ses effets, toujours en évolution ou en progrès, entraînent les choses dans un cycle de changements où elles ne peuvent ni persister dans le même état, ni repasser par les mêmes voies, mais s'éloignent de plus en plus de leur point de départ. Une multitude de faits, antérieurs ou concomitants, influent sur l'activité des êtres et l'adaptent à de mobiles contingences. Le propre d'une fonction est de dépendre de tout ce qui la précède ou l'entoure et d'être prête à se développer en divers sens. C'est une variable indéfinie et la seule constante est sa loi de perpétuelle mutabilité.

Pour connaître une fonction, il faudrait donc interroger

les faits passés qui l'ont préparée, les faits actuels qui la déterminent et les faits subséquents qu'elle est susceptible de produire. La science doit scruter les phénomènes précédés de tous leurs antécédents, escortés de toutes leurs circonstances et suivis de toutes leurs conséquences. C'est un monde de relations à établir à propos du moindre détail. Tandis qu'en Morphologie on se contente, pour établir une espèce, d'examiner et de décrire un individu ou quelques individus, en Praxéologie, pour exposer une fonction, on est tenu d'explorer la suite de ses mutations, et cela, non seulement dans l'individu, où elle change de place en place et de moment en moment, mais encore dans l'espèce, où elle varie de groupe en groupe et d'âge en âge, et même jusque dans l'universalité des choses où vont se perdre ses origines premières et ses résultantes dernières.

La méthode qui saisit les faits de fonction dans leur mobilité fuyante, les coordonne et lie, à travers des entrecroisements sans fin, les effets à leurs causes, porte dans l'école positiviste le nom de « filiation ». Mais A. Comte, qui l'a ainsi appelée, limite son utilité à l'étude des phénomènes sociaux. « L'histoire ou sociologie a pour instrument spécial la filiation, c'est-à-dire la production des états sociaux les uns par les autres. » (Littre, *La science au point de vue philosophique*, p. 432.) Cette désignation de la méthode ne nous semble pas suffisamment explicite, ni son application suffisamment étendue. Le mot de filiation, qui exprime seulement l'ordre de dérivation ou de séquence des faits, a un sens trop restrictif puisqu'il faudrait aussi tenir compte de la simultanéité des influences, des concomitances d'action. Le nom plus général de « connexion », qui comprend ces deux sortes de rapports, conviendrait mieux à la méthode. En outre, borner à la sociologie l'emploi de ce mode d'investigation, c'est en réduire arbitrairement la valeur. Il est indispensable à l'étude de toutes les fonctions, et la Physiologie d'une part,

la Psychologie de l'autre, la Praxéologie comparée et la Praxéologie générale doivent forcément y avoir recours.

Pour nous la méthode connective sera donc le moyen de recherche propre à l'étude des fonctions. Obligée de remonter de cause en cause par séries et d'expliquer le processus des faits par de vastes enchaînements d'influences, elle rapproche des phénomènes de tout ordre, scrute leurs réactions mutuelles et, pour cela, met à contribution les méthodes qui précèdent. Mais le lien qui lui sert à les unir constitue son originalité propre, le principe de son efficacité. Moins contemplative et plus active que la comparaison, elle pénètre plus profondément dans les relations des choses. Alors que la Morphologie, science descriptive, spécifie dans des types les modes fixes de conformation, la Praxéologie, science opérative, doit coordonner des modes d'activité qui changent incessamment.

L'institution d'une méthode où beaucoup de délicatesse devait se concilier avec une grande complexité, rencontrait des difficultés nombreuses qui sont loin encore d'être toutes aplanies. Là git la principale cause de l'état d'imperfection de la Praxéologie. Si, en effet, cette science se trouve aussi en retard sur les précédentes, on ne doit accuser ni le manque d'intérêt du sujet, aucune étude ne pouvant, à cet égard, rivaliser avec elle, ni le défaut d'exploration, car c'est assurément dans cette direction de recherches que l'esprit humain a déployé le plus d'efforts; mais uniquement la nature des problèmes et l'insuffisance de la méthode. Seuls, jusqu'ici, les physiologistes voient clairement le but qu'ils veulent atteindre et y marchent à pas assurés. Les psychologues ont longtemps erré dans les sentiers perdus de la métaphysique qui ne conduisent à rien. Au lieu d'analyser les manifestations psychiques dans le monde animé, ils ont construit des théories abstraites sur la base étroite de l'introspection personnelle. Moins avancés encore, les historiens s'appliquent à nouer entre des accidents fortuits des attaches

imaginaires et manquent de fil logique pour se diriger dans le labyrinthe des fonctions sociales. Pleins du dédain le plus injuste et le moins scientifique pour les foules et les faits communs, ils nous montrent, dans leurs récits, non le genre humain et les développements de la raison, mais des hommes célèbres et de notables accidents. Ils n'ont abordé leur sujet que par ses côtés dramatiques ou pittoresques, et nous donnent avec candeur des romans pour une science, des anecdotes en place de lois. Enfin, les moralistes, incapables de poser des règles certaines d'action, invoquent la conscience, faute de science, et forment de vagues aphorismes qui se démentent l'un l'autre. La morale positive devra s'établir sur un autre fondement et substituer aux sanctions problématiques d'adages sans autorité les prescriptions de lois strictes déduites des conditions d'existence et impératives pour tout agent doué de raison. Tant qu'on ignorera les relations nécessaires qui adaptent les milieux aux êtres et les êtres à leurs milieux, il ne sera guère possible de faire des applications méthodiques de la science à l'hygiène, à la médecine, à la morale, à la politique, à la direction générale de la vie, et l'esprit humain bornera sa courte sagesse à édicter d'excellents préceptes que personne ne contredit, mais qui n'obligent personne et auxquels rien ne manque pour être parfaits que de passer dans la pratique et de se convertir en actes.

La méthode connective a dû varier et compliquer ses procédés en vue de résoudre les différentes classes de problèmes que nous avons distingués.

On peut, en Somatologie, se contenter d'artifices sommaires. Comme les fonctions de croissance et de renouvellement consistent en séries limitées de phénomènes qui s'accomplissent dans les corps, leur ordre se déroule sous les yeux de l'observateur, sans le contraindre à suivre de trop longs enchaînements d'effets ni le dérouter par de

brusques métamorphoses. Là, tout est visible et les actes se déterminent l'un l'autre avec rigueur. Il suffit donc, pour établir la fonction, de reconnaître la succession des faits. Aussi, la Physiologie a-t-elle pu se constituer bien avant les autres sections de la science.

L'étude des fonctions psychiques doit mettre en œuvre un artifice beaucoup plus complexe dont l'organisation est encore fort incomplète. Ici, la relation qui rattache les effets à leurs causes n'est plus directe et circonscrite, mais médiate et indéfinie. Les actions de milieu ne se résolvent en actes qu'après avoir subi dans les profondeurs de la substance nerveuse une transformation qui les dénature. Alors les faits, cessant d'être perceptibles du dehors, se révèlent au jour mystérieux de la conscience. Transfigurés de nouveau, ils redeviennent ensuite extérieurs et apparents dans l'acte final. La fonction se compose donc de deux sortes de phénomènes dissemblables d'aspect quoique intimement unis, et leur série subit une interruption comparable à celle des fleuves qui, après avoir disparu brusquement dans un gouffre, suivent un cours souterrain et vont ressortir à distance. Pour raccorder ces deux ordres disparates de phénomènes, la Psychologie doit combiner les données de l'introspection et celles de l'observation physiologique. Si discrédité que soit, par l'abus que les philosophes en ont fait, le premier de ces moyens de recherche, il est indispensable pour constater les effets spéciaux qui servent de base à la Psychologie, car si le sens intime ne nous en signalait pas l'existence, rien n'en pourrait suggérer l'idée, et les termes mêmes qui s'y rapportent n'auraient pas de sens. A. Comte et les physiologistes qui tiennent comme lui ce mode d'exploration pour inefficace et refusent de s'en servir, commettent donc une erreur flagrante, puisqu'ils s'en servent à leur insu. Mais, d'autre part, les indications du sens intime ne suffisent pas et l'on doit éviter la méprise des psychologues qui prétendent fonder sur une pointe d'aiguille l'édifice

de la science. Il faudrait associer si étroitement les deux procédés d'investigation, que le rapport entre l'aspect interne et l'aspect externe des faits devint manifeste dans tous les cas. Le problème une fois résolu, on pourrait traduire chaque phénomène de conscience en fonction physiologique, dire à quelle mutation de substance, à quelle dépense de force, à quels équivalents d'activité somatique correspondent les actes psychiques, et déterminer au moyen des uns la mesure des autres qu'il n'a pas été, jusqu'ici, possible d'obtenir directement. Ainsi seulement on introduira l'observation, l'expérience et le calcul dans un monde qui semblait leur être à jamais fermé.

D'autres progrès de méthode seraient nécessaires pour mettre la Praxéologie comparée à même d'établir le consensus des fonctions par séries, d'abord dans l'ordre physiologique, puis dans l'ordre psychique, enfin dans leur résultante commune qu'exprime l'unité de la vie individuelle. A peine ce mode plus complexe de connexion commence-t-il à être appliqué aux fonctions physiologiques. Les corrélations des fonctions psychiques sont pleines d'obscurité. Tout est à faire en ce qui concerne l'accord final des deux classes de phénomènes.

Enfin la Praxéologie générale réclamerait un dernier perfectionnement de la méthode connective afin de pouvoir embrasser l'ensemble des fonctions, opérer leur synthèse dans la nature et formuler les lois de l'universelle activité. Faute de moyens suffisants de probation, les théories de l'évolution et du progrès ne sont encore, pour nombre d'esprits prévenus ou difficiles à satisfaire, que des rêves brillants, des hypothèses aventurées. Quand la science, développant leurs conséquences rationnelles, aura expliqué par ces grandes lois une masse croissante de faits et même les anomalies apparentes dont on s'autorise pour les contester, leur autorité s'imposera sans dissidence possible et l'on ne sera pas plus reçu à les nier que de

nos jours à mettre en doute la gravitation, regardée comme absurde par les anciens et tenue encore pour suspecte du temps même de Newton. Il serait déraisonnable sans doute d'exiger que la solution de tels problèmes fournisse la preuve de fait, la vérification expérimentale. Pour ce qui regarde l'origine de la vie, l'évolution des espèces, le progrès des facultés et les phases de l'histoire, la science n'est pas tenue de recommencer la création afin de convaincre des incrédules dont beaucoup ferment les yeux de peur d'y voir clair. Tout ce qu'on peut demander à des vérités de ce genre, mais ce qu'on doit exiger d'elles, c'est qu'elles ramènent aux lois de la concordance logique la totalité des faits connus. Il faut nécessairement se contenter ici de la preuve cumulative, de la démonstration par l'accord d'une multitude de détails dont plus tard la connexion saura sûrement établir avec évidence l'irréfragable unité.

On voit combien sont encore incomplets ou défectueux les moyens d'étude dont la Praxéologie dispose. Lorsque, cet obstacle une fois surmonté, la science des fonctions aura réussi à instituer pleinement sa méthode, elle sera l'égale en certitude des sciences antérieures et les dépassera toutes par la grandeur de ses résultats.

CONCLUSION

Arrivés au terme de ce travail, jetons un regard en arrière afin de nous rendre compte du chemin que nous venons de parcourir.

Nous avons reconnu dans la nature sept ordres de faits auxquels correspondent, dans l'esprit humain, sept catégories d'idées : la réalité, la grandeur, la collocation, la modalité, la composition, la structure et les fonctions.

Leur étude motive l'établissement de sept sciences générales distinctes : l'Ontologie positive, la Mathématique, la Dynamique, la Physique, la Chimie, la Morphologie et la Praxéologie.

Les problèmes qu'elles posent, au double point de vue de l'analyse et de la synthèse, sont résolus à l'aide de sept méthodes : l'intuition, la déduction, l'observation, l'expérimentation, l'intégration, la comparaison et la connexion.

Cela comprend, en ce qui concerne les sujets spéciaux de recherche, toute la matière connaissable et tous nos moyens de connaissance. Nous ne pouvons ni percevoir des phénomènes ou concevoir des idées qui ne rentrent pas dans un de ces cadres, ni parvenir à la vérité par d'autres voies. Il est aisé de se convaincre, à la ré-

flexion, que, dans leur multiplicité confuse, les sciences particulières examinent toujours sous ce petit nombre de rapports les groupes convenus d'objets qu'elles étudient. Leurs notions concrètes se trouvent ainsi coordonnées et résumées dans les systèmes de connaissances abstraites dont nous venons d'esquisser le plan. Ces aspects de la nature nous montrent le tout des choses et, quand on les a considérés en entier, le cycle de la science est complet.

Sans doute, ce savoir n'a rien d'absolu ni d'infini. Il est relatif et fini, comme nous, comme nos ressources d'exploration. Diverses barrières, dont il importe d'avoir la mesure, empêchent l'esprit humain, pareil à un aigle en cage, de prendre librement son essor.

Une première limite, la plus rapprochée, mais heureusement facile à déplacer, tient à l'imperfection actuelle de nos connaissances. La science est une conquête qui, s'opérant peu à peu, exige une longue suite d'efforts. Elle se compose de petits gains accumulés par le labeur sans trêve des générations. Bacon donne à la vérité le temps pour père (« *Veritas filia Temporis* »). Chaque âge la développe et travaille à la mettre au jour. C'est un devenir dont la croissance continue ne s'achèvera jamais. Comme l'antique Isis, la nature nous apparaît enveloppée de bandelettes qu'il faut dérouler une à une afin de contempler la déesse dans sa resplendissante nudité. L'avenir tient assurément en réserve plus de découvertes que ne nous en a légué le passé, et nous ne ferions pas un mauvais marché s'il nous était permis d'échanger ce que nous savons pour ce qu'on saura plus tard, notre connu pour l'inconnu, « la part du lion », disait Arago. Avec un peu de patience et beaucoup de persévérance, la postérité saura s'en approprier une part sans cesse accrue. « *Multi pertran-*

sibunt et augebitur scientia » (Bacon). La plupart de nos sciences, d'institution si récente, sont à peine ébauchées. Leur étude, plutôt « suggestive » qu'« exhaustive », soulève plus de problèmes qu'elle n'en a pu jusqu'ici résoudre, et, loin d'épuiser la matière, ouvre aux recherches des perspectives indéfinies. Notre savoir est comparable à une sphère lumineuse dont le rayon augmente avec l'éclat du foyer, mais qui par cela même touche les ténèbres en plus de points. Si rapide que soit de nos jours le progrès de la connaissance, cette rapidité prouve surtout combien il nous reste à apprendre, et, dans la carrière que nous sommes appelés à parcourir, le but semble reculer à mesure que nous avançons. Chaque époque a donc sa borne d'ignorance, borne mobile et fuyante que la science éloigne toujours davantage, sans qu'il soit en son pouvoir de la supprimer.

Outre cette limite qui, présentement, nous arrête, mais qui, pour nos successeurs, marquera simplement un point de départ, il y a des obstacles fixes qu'il leur sera, comme à nous, difficile de franchir, parce qu'ils résultent de la nature rebelle des choses et des bornes assignées à nos modes d'investigation. Dans les classes de faits que nous croyons le mieux connaître, de vastes parties, dont il ne nous est pas donné de mesurer l'importance, restent cachées et l'on ne conçoit même pas comment il serait possible de les amener à la lumière.

Que savons-nous, par exemple, et que saura-t-on jamais de l'universelle réalité? Cela seulement que notre perceptivité peut atteindre dans un petit coin de l'espace et durant le court intervalle qui nous voit naître et mourir. Pour tous moyens d'information, nous avons : en nous les indications du sens intime et des sens internes; hors de

nous, celles de sens dont les uns ne s'exercent qu'au contact et les autres sont impressionnables à distance, mais singulièrement restreints quant à leur portée. Notre Ontologie n'est explicite que pour les êtres situés à la surface du globe et de dimensions en rapport avec les aptitudes de nos organes. Depuis trois siècles, il est vrai, la vue amplifiée par d'ingénieux artifices a révélé dans le champ du microscope un monde longtemps ignoré d'êtres infimes; toutefois, que de progrès il y aurait encore à faire pour voir nettement les molécules ou les atomes! Dans l'autre sens de la grandeur, nos constatations se heurtent vite à une impuissance absolue. Les astres les plus voisins ne laissent guère entrevoir qu'un aperçu géographique de leur masse; la plupart se réduisent à des points brillants, et les plus lointains finissent par se perdre dans de vagues nébulosités. Ces mondes sans nombre qui constellent notre ciel et ceux, plus innombrables encore, que n'atteignent pas nos regards sont pleins sans doute, comme le nôtre, de créations merveilleuses, mais autrement ordonnées, dont l'existence est pour nous un impénétrable mystère.....

En Mathématique, nos spéculations se bornent à quelques manières de supputer des unités, d'opérer sur les nombres, de construire l'étendue, d'établir des rapports de quantités ou de figures et de les formuler en équations. Or, toutes ces déterminations de la grandeur sont finies et même nos expressions embrassent plus que la pensée ne peut saisir, car les grands nombres et les figurations complexes ne représentent rien de net pour l'intelligence. Si, par un artifice analogue à ceux de l'optique, les méthodes d'analyse nous permettent d'évaluer les infiniment petits, l'infiniment grand, qui constitue la vraie grandeur, se dérobe à nos procédés de mensuration. Ainsi, dans une

science où l'esprit, raisonnant sur ses propres conceptions, semblerait avoir la plus grande latitude, il rencontre bientôt des limites qui tiennent à son incurable débilité....

Pour connaître les effets de la force mouvante, nous sommes réduits à étudier quelques états d'équilibre, stable ou instable, et quelques modes de mouvement, direct ou circulaire, tels que l'observation peut les constater parmi les masses tangibles ou visibles. Mais les forces qui fixent ou déplacent la matière prise dans ses moindres ou ses plus grands agrégats, dans les atomes ou dans les nébuleuses, agissent-elles de la même manière, suivant les mêmes lois que dans les agrégats moyens, seuls à portée de nos sens, ou manifestent-elles leur énergie par des modes inconnus d'équilibre ou de mouvement? Notre loi de gravitation est-elle partout identique ou varie-t-elle, soit insensiblement, soit brusquement à des distances limites?....

L'expérimentation physique porte sur des échelles restreintes d'effets. Ces échelles se prolongent-elles à l'infini et leurs degrés correspondent-ils à des variations de modalités connues, ou ont-ils une limite où s'opère la transformation en d'autres agents, c'est-à-dire la production de modalités nouvelles? Y a-t-il, par exemple, des températures de 10 000, 100 000, 1 000 000..... de degrés au-dessus et au-dessous de zéro? Quels phénomènes en résultent? Et si, à un moment donné, la chaleur cesse d'agir, que devient-elle? De même pour les effets de cohésion, de sonorité, de lumière, d'électricité, de magnétisme. La nature physique se refuse-t-elle à admettre, sous des influences indéterminées, d'autres séries d'effets que nous ne pouvons non plus soupçonner que le sourd-muet le bruit ou l'aveugle-né la lumière?.....

Nos recherches sur la composition des choses s'étendent d'un petit nombre de corps indûment appelés

simples (métaux ou métalloïdes) à quelques classes de composés (définis ou indéfinis). Qui dira jusqu'où peut aller, d'une part la simplicité des éléments de substance, de l'autre la complexité de leurs dérivés? Des éléments ignorés de nous entrent-ils dans la composition des astres et donnent-ils lieu à des séries imprévues de combinaisons, soit entre eux, soit avec ceux que nous connaissons? Supposez la Terre privée d'oxygène, de carbone ou d'azote, ou enrichie d'éléments qui leur soient comparables en aptitudes variées : que serait sa condition chimique? N'a-t-il pas pu se produire, dans quelque monde, des composés aussi supérieurs à nos composés organiques que ceux-ci le sont aux composés définis?....

En ce qui touche les faits de conformation, la force plastique est-elle réduite à reproduire partout des espèces, soit inorganiques, soit organisées, semblables ou analogues à celles que décrit la Morphologie terrestre; ou bien, par la mise en œuvre de matériaux plus simples ou plus complexes, disposés dans les conditions les plus diverses, se joue-t-elle à produire, dans la multitude infinie des mondes, des types dont la richesse même des nôtres peut faire pressentir l'inépuisable variété? S'il nous était donné d'apercevoir les molécules et les atomes, nous constaterions sans doute des architectures mobiles d'éléments qui ne rappelleraient en rien la construction fixe et en apparence compacte de nos cristaux. De même, des composés supérieurs au protoplasme ne pourraient-ils pas donner lieu à des séries de plastides autres que nos cellules, à des trames autres que nos tissus. La nature a-t-elle réalisé d'autres modes de structure que la cristallisation et l'organisation, d'autres corps vivants que des protistes, des végétaux et des animaux? Une série de règnes, hiérarchiquement superposés, se continue-t-elle sans terme?....

Enfin, des êtres différemment conformés et soumis à l'influence de milieux dissemblables accomplissent-ils des fonctions dont les nôtres ne peuvent donner aucune idée? Leur serait-il impossible de croître autrement que par juxtaposition ou interposition, de vivre autrement qu'à condition de se nourrir et de se régénérer? Doivent-ils agir sous nos lois exclusives de réflexivité, d'instinct, d'intelligence et de raison, ou connaissent-ils des modes d'activité psychique aussi étrangers à notre condition d'esprit que l'est la pensée pour la plante ou le sentiment pour la pierre? Y a-t-il quelque part dans l'univers des êtres d'essence surhumaine, doués de facultés sublimes, plus puissantes, plus libres, infiniment supérieures à l'idéal le plus élevé que la raison puisse rêver?....

Sur tous ces points, et sur beaucoup d'autres, nous devons confesser une ignorance complète, irrémédiable.

Chaque science a donc ses limites qui circonscrivent étroitement l'horizon des faits scrutables. Considérée dans son ensemble, la science a aussi ses bornes, plus infranchissables encore, que posent les restrictions absolues assignées à notre pouvoir de comprendre et notre incapacité de concevoir l'univers autrement que sous un petit nombre d'aspects, alors que, sans doute, il comporte des aspects sans nombre. Nous ne savons rien de l'infinité de l'être et de l'infinité d'attributs qu'il est susceptible de revêtir dans l'immensité de l'espace et l'éternité de la durée. « Il est, dit Spinoza, de la nature de la substance de se développer nécessairement par une infinité d'attributs infinis, infiniment modifiés. » (*Ethique.*) Comme les seules forces dont nous ayons connaissance sont celles qui agissent sur nos sens ou sur des instruments aptes à les impressionner, rien n'autorise à présumer que les puis-

sances de la nature finissent là où s'arrêtent nos moyens d'en percevoir les effets, et l'on peut admettre que, dans l'univers, l'énergie se réalise sous une multitude de formes qui nous échappent. Dans des régions inabordables de l'espace, autour de nous, en nous peut-être, se produisent des ordres de phénomènes sur lesquels aucun jour ne nous est ouvert, que nulle sagacité ne saurait pressentir et dont l'intelligence serait pourtant nécessaire pour avoir l'explication juste des choses.

« Tout ce monde visible n'est qu'un trait imperceptible dans l'ample sein de la nature. Nulle idée n'en approche. Nous avons beau enfler nos conceptions au delà des espaces imaginables, nous n'enfantons que des atomes au prix de la réalité des choses. » (Pascal, *Pensées*, I, 1.) Que de grandeur et de puissance se cache dans cet infini qu'on ne peut sonder ! La nature se dérobe à nos étreintes par son étendue et par sa diversité. Nous n'avons sur elle que des échappées. Du poème de l'univers, nous épelons péniblement un fragment perdu, quelques vers, un mot peut-être, dont le sens est livré à l'incertitude de nos interprétations, pendant que la vraie signification de l'œuvre reste un impénétrable mystère.

Ainsi l'inconnu nous enveloppe et nous presse de toutes parts. Notre connaissance est comme un point lumineux au centre d'une immensité noire qui nous engloutit. De quelque côté que se portent nos recherches, nous rencontrons vite la fatale barrière de l'absolu et de l'infini. Toutefois, l'ignorance où nous sommes à leur égard n'est pas une raison de les nier. Leur certitude résulte au contraire de l'obstacle même qu'ils opposent à la pensée. « Ce qui est au delà (du savoir positif), soit, matériellement, le fond de l'espace sans borne, soit, intellectuellement, l'enchaînement des causes sans terme, est absolument inaccessible

à l'esprit humain. Mais inaccessible ne veut pas dire nul ou non existant. L'immensité tant matérielle qu'intellectuelle tient par un lien étroit à nos connaissances et ne devient que par cette alliance une idée positive et de même ordre; je veux dire que, en les touchant et en les bordant, cette immensité apparaît sous son double caractère, la réalité et l'inaccessibilité. C'est un océan qui vient battre notre rive et pour lequel nous n'avons ni barque ni voile, mais dont la claire vision est aussi salutaire que formidable. » (Littré, *Auguste Comte et la philosophie positive*, 1863, p. 519).

Cette idée de l'infini, gloire et tourment de la raison, deviendra-t-elle jamais un objet de connaissance? Notre curiosité le souhaite passionnément. Le monde fait de ce désir sa plus chère espérance et prodigue les marques de son respect aux esprits altiers qui, dédaignant les humbles vérités de nos sciences, visent à conquérir la vérité absolue. Mais peut-être y a-t-il de leur part quelque présomption à se promettre le succès. Puisque connaître les choses revient à en prendre la mesure, n'est-il pas contradictoire de supposer que l'infini puisse jamais être « défini »? Convenons du moins que la solution d'un tel problème dépasse actuellement les possibilités de la science et la capacité de l'esprit humain. Vainement la Théologie et la Métaphysique prétendent l'avoir trouvée; leurs formules qui devraient être identiques sont diverses et, loin de concorder, se contredisent. La démonstration, d'ailleurs, est toujours à faire et rien de ce qu'elles affirment ne résiste à un examen rigoureux. Ce ne sont pas des sciences, mais des sœurs de la poésie qui représentent comme elle une forme du rêve et de l'illusion. Leurs conceptions appartiennent à la catégorie de l'idéal. Admi-

rons-les quand elles sont belles; néanmoins, gardons-nous d'y croire tant que nous ne voudrions pas courir le risque d'être infidèles à la vérité. Pour aborder ce grand problème (si toutefois notre connaissance de l'inintelligible ne se réduit pas à le comprendre comme tel), il faudrait procéder, non par l'à priori de la révélation ou du système, mais par l'à posteriori de la science, c'est-à-dire partir de ce que l'on sait, au lieu de ce qu'on ignore, et faire du vraisemblable le prolongement logique du vrai. Renfermons donc provisoirement nos recherches dans le domaine de l'exploration positive, car, seule, la science ne promet pas plus qu'elle ne peut tenir et tient toujours plus qu'elle n'a promis. Attachons-nous de préférence à ce qu'il nous est possible de savoir avec certitude, dans l'espérance que, plus tard, le reste nous sera donné par surcroît, et ajournons les tentatives pour trancher la question de l'infini jusqu'au moment où la science du fini approchera de son terme. Il sera temps de spéculer sur l'inconnaissable quand tout le connaissable sera connu.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SECOND

LIVRE IV

Poïologie ou Physique.

SCIENCE DES MODALITES

	Pages
CHAPITRE I. — DÉFINITION DE LA PHYSIQUE.....	1
• CHAPITRE II. — PROGRAMME DE LA PHYSIQUE.....	15
§ I. — PHYSIQUE ANALYTIQUE, SCIENCE DES FAITS DE MODALITÉ....	19
1. — Physique élémentaire, science des modalités constantes	21
Théorie des modalités constantes.....	21
1. — Staséologie, science des effets de la cohésion.....	24
A. — Effets de la cohésion dans les solides. — <i>a.</i> Effets permanents; — <i>b.</i> Effets occasionnels.....	26
B. — Effets de la cohésion dans les fluides. — <i>a.</i> Dans les liquides; — <i>b.</i> Dans les gaz.....	29
2. — Phonologie, science des sons.....	35
A. — Conditions générales des sons. — <i>a.</i> Intensité des sons; — <i>b.</i> Transmission des sons.....	39
B. — Qualités spéciales des sons. — <i>a.</i> Hauteur des sons; — <i>b.</i> Timbre des sons.....	41
Conclusion. — Statique moléculaire.....	45
II. — Physique spéciale, science des modalités variables	46
Théorie des modalités variables..	46

	Pages
1. — Actinologie, science des actions vibratoires.....	51
A. — Thermologie, science de la chaleur. — <i>a.</i> Effets de tension; — <i>b.</i> Effets d'émission.....	53
B. — Photologie ou Optique, science de la lumière. — <i>a.</i> Lumière blanche; — <i>b.</i> Couleurs.....	57
2. — Rhéontologie, science des actions de courant.....	64
A. — Electrologie, science de l'électricité. — <i>a.</i> Effets de tension; — <i>b.</i> Effets de courant.....	66
B. — Magnétologie, science du magnétisme. — <i>a.</i> Effets spéciaux; — <i>b.</i> Effets généraux.....	71
Conclusion. — Cinétique moléculaire.....	76
§ II. — PHYSIQUE SYNTHÉTIQUE, SCIENCE DES CORRÉLATIONS D'EFFETS.....	78
I. — Physique comparée, science des rapports spéciaux d'effets.	80
Théorie des rapports de modalité.....	80
1. — Corrélations des modalités constantes.....	81
A. — Corrélations des effets de cohésion. — <i>a.</i> Dans les solides; — <i>b.</i> Dans les fluides.....	81
B. — Corrélations des effets de sonorité. — <i>a.</i> Effets d'intensité; — <i>b.</i> Effets d'acuité.....	87
2. — Corrélations des modalités variables.....	89
A. — Corrélations des actions rayonnantes. — <i>a.</i> Des effets thermiques; — <i>b.</i> Des effets lumineux.....	89
B. — Corrélations des actions de courant. — <i>a.</i> Des effets électriques; — <i>b.</i> Des effets magnétiques.....	92
Conclusion. — Corrélation des modalités diverses.....	100
II. — Physique générale, science de l'unité des actions physiques.	106
Théorie de l'unité des actions physiques.....	106
1. — Cause générale des effets de statique moléculaire.....	118
A. — Cause des effets de cohésion. — <i>a.</i> Dans les solides; — <i>b.</i> Dans les fluides.....	118
B. — Cause des effets de sonorité. — <i>a.</i> Effets d'intensité; — <i>b.</i> Effets d'acuité.....	121
2. — Cause générale des modalités variables.....	123
A. — Cause des actions vibratoires. — <i>a.</i> Effets thermiques; — <i>b.</i> Effets lumineux.....	123
B. — Cause des effets de courant. — <i>a.</i> Effets électriques; — <i>b.</i> Effets magnétiques.....	125
Conclusion. — Unité de la force moléculaire.....	127
CHAPITRE III. — MÉTHODE DE LA PHYSIQUE. — DE L'EXPÉRI-MENTATION.....	133

LIVRE V

Craséologie ou Chimie.

SCIENCE DES COMBINAISONS

	Pages
CHAPITRE I. — DÉFINITION DE LA CHIMIE	151
CHAPITRE II. — PROGRAMME DE LA CHIMIE.....	167
§ I. — CHIMIE ANALYTIQUE, SCIENCE DES FAITS DE COMPOSITION....	169
I. — Chimie élémentaire, science des éléments de substance.....	172
Théorie des éléments de substance.....	172
1. — Eléments irréductibles, corps simples	180
A. — Eléments primaires, métaux. — <i>a.</i> Métaux inertes; <i>b.</i> Métaux actifs.....	183
B. — Eléments secondaires, métalloïdes. — <i>a.</i> Métalloïdes allosaturateurs; — <i>b.</i> Métalloïdes antosaturateurs.....	187
2. — Eléments réductibles, radicaux composés.....	191
A. — Radicaux primaires ou des composés définis. — <i>a.</i> Dérivés d'un métal et d'un métalloïde; — <i>b.</i> De deux métalloïdes.....	195
B. — Radicaux secondaires ou des composés indéfinis. — <i>a.</i> Dérivés du carbone; — <i>b.</i> Dérivés de l'azote.....	198
Conclusion	199
II. — Chimie spéciale, science des substances composées.....	201
Théorie de la composition des substances.....	201
1. — Composés définis.....	205
A. — Composés primaires. — <i>a.</i> Hydrates élémentaires; — <i>b.</i> sels simples.....	207
B. — Composés secondaires. — <i>a.</i> Hydrates composés; — <i>b.</i> Sels complexes.....	209
2. — Composés indéfinis.....	212
A. — Composés non azotés de carbone. — <i>a.</i> Simples, alcools, acides; — <i>b.</i> Complexes, glycosides.....	218
B. — Composés azotés de carbone. — <i>a.</i> Protéiques, albuminoïdes; — <i>b.</i> Surcomposés, substances musculaires et nerveuses	223
Conclusion	229

	Pages
§ II. — CHIMIE SYNTHÉTIQUE, SCIENCE DES RAPPORTS DE COMPOSITION.....	230
I. — Chimie comparée, science des rapports spéciaux de composition.....	231
Théorie des rapports de composition.....	231
1. — Relations des éléments de substance.....	232
A. — Corrélations des éléments irréductibles. — <i>a.</i> Des métaux; — <i>b.</i> Des métalloïdes.....	235
B. — Corrélations des éléments réductibles. — <i>a.</i> Des radicaux primaires; — <i>b.</i> Des radicaux secondaires.....	238
2. — Relations des composés variables.....	242
A. — Corrélations des composés définis. — <i>a.</i> Des composés définis primaires; — <i>b.</i> Des composés définis secondaires.....	242
B. — Corrélations des composés indéfinis. — <i>a.</i> Des composés non azotés de carbone; — <i>b.</i> Des composés azotés de carbone.....	243
Conclusion. — Relations des éléments et des composés.....	253
II. — Chimie générale, science des lois de composition.....	257
Théorie des corrélations d'ensemble.....	257
1. — Loi des combinaisons élémentaires. Atomicité.....	262
A. — Atomicité des éléments irréductibles. — <i>a.</i> Des métaux; — <i>b.</i> Des métalloïdes.....	263
B. — Atomicité des éléments réductibles. — <i>a.</i> Des radicaux primaires; — <i>b.</i> Des radicaux secondaires.....	265
2. Loi des combinaisons complexes. Molécularité.....	266
A. — Molécularité des composés définis. — <i>a.</i> Des composés définis primaires; — <i>b.</i> Des composés définis secondaires.....	267
B. — Molécularité des composés indéfinis. — <i>a.</i> Des composés non azotés de carbone; — <i>b.</i> Des composés azotés de carbone.....	268
Conclusion. — Unité de l'action chimique. Nomenclature....	270
CHAPITRE III. — MÉTHODE DE LA CHIMIE. — DE L'INTÉGRATION.....	287

LIVRE VI

Morphologie.

SCIENCE DES FORMES

	Pages
CHAPITRE I. — DÉFINITION DE LA MORPHOLOGIE.....	299
CHAPITRE II. — PROGRAMME DE LA MORPHOLOGIE.....	313
§ I. — MORPHOLOGIE ANALYTIQUE, SCIENCE DES FAITS DE STRUCTURE.....	316
I. — Morphologie élémentaire, science des matériaux plastiques.....	317
Théorie des éléments de structure.....	317
1. — Plassologie, science des éléments primaires de structure.	323
A. — Plastides inorganiques, éléments cristallogéniques. —	
<i>a.</i> Primordiaux; — <i>b.</i> Dérivés.....	324
B. — Plastides organiques, cellules. — <i>a.</i> Cellules des tissus passifs; — <i>b.</i> Cellules des tissus actifs.....	326
2. — Histologie, science des éléments composés de structure.	337
A. — Architecture cristalline. — <i>a.</i> Simple ou uniforme; — <i>b.</i> Complexe ou variable.....	338
B. — Texture organique. — <i>a.</i> Des tissus passifs; — <i>b.</i> Des tissus actifs.....	340
Conclusion.....	346
II. — Morphologie spéciale, science des modes de structure.....	347
Théorie des modes de structure.....	347
1. — Typoséologie, science des plans de structure.....	350
A. — Plans de structure des cristaux. — <i>a.</i> Axes; — <i>b.</i> Surfaces.....	351
B. — Plans de structure des organismes. — <i>a.</i> Axes; — <i>b.</i> Contours.....	354
2. — Organologie, science des modes d'exécution des plans.	359
A. — Organes construits avec des tissus passifs. — <i>a.</i> Organes des végétaux; — <i>b.</i> Organes des animaux.....	361
B. — Organes construits avec des tissus actifs. — <i>a.</i> Organes de locomotion; — <i>b.</i> Organes de sensation.....	366
Conclusion.....	378
§ II. — MORPHOLOGIE SYNTHÉTIQUE, SCIENCE DES RAPPORTS DE CONFORMATION.....	380

	Pages
I — Morphologie comparée, science des corrélations spéciales de structure	381
Théorie des corrélations spéciales des formes	381
1. — Corrélations des éléments de structure.	383
A. — Corrélations des éléments primaires. — <i>a.</i> Des plastides cristallins; — <i>b.</i> Des plastides organiques.....	384
B. — Corrélations des éléments secondaires. — <i>a.</i> Des agrégats cristallins; — <i>b.</i> Des tissus organiques.....	390
2. — Corrélations des modes de structure.....	394
A. — Corrélations des plans de structure. — <i>a.</i> Des plans des cristaux; — <i>b.</i> Des plans des organismes.....	394
B. — Corrélations des modes d'organisation. — <i>a.</i> Des organes de la vie végétative; — <i>b.</i> Des organes de la vie animale.	398
Conclusion. — Analogie des formes.....	405
II. — Morphologie générale ou Taxinomie, science des corrélations d'ensemble	411
Théorie des lois de structure.....	411
1. — Classement des formes par la considération des éléments de structure.....	416
A. — Classement d'après les éléments premiers. — <i>a.</i> Plastides cristallins; — <i>b.</i> Plastides organiques.....	417
B. — Classement d'après les éléments dérivés. — <i>a.</i> Agrégats cristallins; — <i>b.</i> Tissus organiques.....	419
2. Classement des formes d'après le mode de structure.....	422
A. — Classement d'après le plan de structure. — <i>a.</i> Des systèmes cristallins; — <i>b.</i> Des types organiques.....	422
B. — Classement d'après le mode d'organisation. — <i>a.</i> Des formes végétales; — <i>b.</i> Des formes animales.....	426
Conclusion. — Unité de la création plastique.....	439
CHAPITRE III. — MÉTHODE DE LA MORPHOLOGIE. — DE LA COMPARAISON	443

LIVRE VII

Praxéologie.

SCIENCE DES FONCTIONS

CHAPITRE I. — DÉFINITION DE LA PRAXÉOLOGIE	453
CHAPITRE II. — PROGRAMME DE LA PRAXÉOLOGIE	465

TABLE DES MATIÈRES.

633

	Pages
§ I. — PRAXÉOLOGIE ANALYTIQUE, SCIENCE DES FAITS DE FONCTION.....	469
I. — Praxéologie élémentaire ou Somatologie, science des fonctions directes ou automatiques.	467
Théorie des fonctions somatiques.....	469
1. — Auxéséologie, science des fonctions de croissance....	470
A. — Accroissement par juxtaposition. — <i>a.</i> Des éléments cristallogéniques; — <i>b.</i> Des types cristallins.....	473
B. — Accroissement par interposition. — <i>a.</i> Des éléments organiques; — <i>b.</i> Des types organiques.....	474
2. — Néoséologie, science des fonctions de rénovation.....	478
A. — Trophologie, fonctions de nutrition. — <i>a.</i> Interstitielle; — <i>b.</i> Organique.....	480
B. — Gonologie, fonctions de reproduction. — <i>a.</i> Scissipare; — <i>b.</i> Sexipare.....	488
Conclusion. — Somatisme.....	498
I. — Praxéologie spéciale ou Psychologie, science des fonctions indirectes ou autonomes.....	499
Théorie des fonctions psychiques.....	499
1. — Actes psychiques irréflechis.....	512
A. — Réflexivité. — <i>a.</i> Élémentaire; — <i>b.</i> Composée....	514
B. — Instincts. — <i>a.</i> Primaires; — <i>b.</i> Secondaires.....	519
2. — Actes psychiques réfléchis.....	526
A. — Intelligence. — <i>a.</i> Inférieure; — <i>b.</i> Supérieure....	526
B. — Raison. — <i>a.</i> Inculte; — <i>b.</i> Cultivée.....	532
Conclusion. — Psychisme.....	543
§ II. — PRAXÉOLOGIE SYNTHÉTIQUE, SCIENCE DES CORRÉLATIONS DE FONCTION.....	545
I. — Praxéologie comparée, science des corrélations spéciales des fonctions.....	546
Théorie du consensus des fonctions.....	546
1. — Corrélations somatiques.....	548
A. — Corrélations de croissance. — <i>a.</i> Des cristaux; — <i>b.</i> Des organismes.....	548
B. — Corrélations de rénovation. — <i>a.</i> Trophiques; — <i>b.</i> Reproductrices.....	551
2. — Corrélations psychiques.....	556
A. — Corrélations des actes irréflechis. — <i>a.</i> Des actes réflexes; — <i>b.</i> Des actes instinctifs.....	556
B. — Corrélations des actes réfléchis. — <i>a.</i> Des actes intellectuels; — <i>b.</i> Des actes rationnels.....	559
Conclusion. — Consensus du somatisme et du psychisme....	565
II. — Praxéologie générale, science des lois des fonctions.....	577

	Pages
Théorie des lois de fonction.....	577
1. — Loi générale du somatisme. — De l'évolution.....	578
A. — Evolution de croissance. — <i>a.</i> Des cristaux; — <i>b.</i> Des organismes.....	580
B. — Evolution de rénovation. — <i>a.</i> Nutritive; — <i>b.</i> Reproductrice.....	582
2. — Loi générale du psychisme. — Du progrès	587
A. — Progrès des actes irréfléchis. — <i>a.</i> Des réflexivités; — <i>b.</i> Des instincts.....	590
B. — Progrès des actes réfléchis. — <i>a.</i> De l'intelligence; — <i>b.</i> De la raison.....	592
Conclusion. — Loi d'universelle activité.....	596
CHAPITRE III. — MÉTHODE DE LA PRAXÉOLOGIE. — DE LA CONNEXION.....	605
CONCLUSION.....	617

FIN DE LA TABLE DU TOME SECOND

PARIS. — IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET RUE MIGNON, 2.

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}.

108^{bis} Boulevard Saint-Germain, 108

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

FORMAT IN-8.

Volumes à 5 fr., 7 fr. 50 et 10 fr. Cart., à 1 fr. en plus par vol., reliure, 2 fr.

- Jules Barni.**
La morale dans la démocratie. 1 vol. in-8. 5 fr.
- Agassiz.**
De l'espèce et des classifications, traduit de l'anglais par M. Vogell. 1 vol. in-8. 5 fr.
- Stuart Mill.**
La philosophie de Hamilton, traduit de l'anglais par M. Cazelles. 1 vol. in-8. 10 fr.
Mes mémoires. Histoire de ma vie et de mes idées, traduit de l'anglais par M. E. Cazelles. 1 vol. in-8. 5 fr.
Système de logique déductive et inductive. Exposé des principes de la preuve et des méthodes de recherche scient., trad. de l'anglais par M. L. Peisse. 2 vol. in-8. 20 fr.
- Essais sur la religion, traduits de l'anglais par M. E. Cazelles. 1 vol. in-8. 5 fr.**
- De Quatrefages.**
Ch. Darwin et ses précurseurs français, 1 vol. in-8. 5 fr.
- Herbert Spencer.**
Les premiers principes, 1 fort vol. in-8, traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.
Principes de psychologie, traduit de l'anglais par MM. Ribot et Espinas. 2 vol. 20 fr.
Principes de biologie, traduit par M. Cazelles. 2 vol. in-8, 1878. 20 fr.
Principes de sociologie, traduit par MM. Cazelles et Gerschel. 2 vol. in-8. 17 fr. 50
Essais sur le progrès, traduit de l'anglais par M. Burdeau. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
Essais de politique, 1 vol. in-8, traduit par M. Burdeau. 7 fr. 50
Essais scientifiques. 1 vol. in-8, traduit par M. Burdeau. 7 fr. 50
De l'éducation physique, intellectuelle et morale. 1 vol. in-8. 4^e édition. 5 fr.
Introduction à la science sociale. 1 vol. in-8. 5^e édition. 6 fr.
Classification des sciences. 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- Auguste Laugel.**
Les problèmes (Problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme). 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50
- Émile Saigey.**
Les sciences au XVIII^e siècle, la physique de Voltaire. 1 vol. 5 fr.
- Paul Janet.**
Histoire de la science politique dans ses rapports avec la morale, 2^e éd. 2 vol. 20 fr.
Les causes finales. 1 vol. in-8, 2^e éd. 40 fr.
- Th. Ribot.**
De l'hérédité. 1 vol., 2^e éd. 7 fr. 50
La psychologie anglaise contemporaine (école expér.). 1 vol. in-8. 2^e éd. 1875. 7 fr. 50
- Th. Ribot.**
La psychologie allemande contemporaine (école expér.), 1 vol. in-8, 1879. 7 fr. 50
- Henri Ritter.**
Histoire de la philosophie moderne, traduction française, précédée d'une introduction par M. P. Chaillemel-Lacour. 3 vol. 20 fr.
- Alf. Fouillée.**
La liberté et le déterminisme. 1 vol. 7 fr. 50
- De Laveleye.**
De la propriété et de ses formes primitives. 1 vol. in-8, 2^e éd. 7 fr. 50
- Hain.**
La logique inductive et déductive, traduit de l'anglais par M. Compayré. 2 vol. 20 fr.
Les sens et l'intelligence. 1 vol. in-8, traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.
L'esprit et le corps. 1 vol. in-8. 3^e éd. 8 fr.
La science de l'éducation. 1 vol. in-8. 2^e éd. 8 fr.
- Matthew Arnold.**
Les livres religieux. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- Bardoux.**
Les légistes et leur influence sur la société française. 1 vol. in-8. 5 fr.
- Hartmann (E. de).**
La philosophie de l'Inconscient, traduit de l'allemand par M. D. Nolen, avec une préface de l'auteur écrite pour l'édition française. 2 vol. in-8. 1877. 20 fr.
- Espinas (Alf.).**
Des sociétés animales. 1 vol. in-8, 2^e éd., précédée d'une introduction sur l'histoire de la sociologie. 7 fr. 50
- Flint.**
La philosophie de l'histoire en France, traduit de l'anglais par M. Ludovic Carrau. 4 vol. in-8. 1878. 7 fr. 50
La philosophie de l'histoire en Allemagne, traduit de l'anglais par M. Ludovic Carrau. 1 vol. in-8. 1878. 7 fr. 50
- Liard.**
La science positive et la métaphysique. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- Guyau.**
La morale anglaise contemporaine. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- Huxley.**
Hume, sa vie, sa philosophie, traduit de l'anglais avec préface par M. G. Compayré. 1 vol. in-8. 5 fr.
- E. Naville.**
La logique de l'hypothèse. 1 vol. in-8. 5 fr.