Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 17 (1935)

Artikel: Les frontières de la physique et de la biologie
Autor: Guye, Ch.-Eug.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-741558

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 21.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LES FRONTIÈRES DE LA PHYSIQUE ET DE LA BIOLOGIE

PAR

Ch.-Eug. GUYE

(Deuxième mémoire [1].)

(avec 3 fig.)

---

1. — Le déterminisme des phénomènes physiques et chimiques.

De façon générale, on peut dire que le déterminisme de tous les phénomènes physiques et chimiques — qu'on les envisage à l'échelle physico-chimique, moléculaire et atomique ou intra-atomique — tend de plus en plus à être considéré par les physiciens comme un « déterminisme statistique ». Du point de vue expérimental, il semble bien, en effet, que les derniers éclairs de connaissance que peut faire jaillir l'expérience ou l'observation dans le monde intra-atomique ne sont encore que des « vérités statistiques ». *Ce n'est donc que par une extrapolation sur les origines de ces vérités ultimes que nous pouvons chercher à atteindre le déterminisme absolu.*

Pendant quelque temps, l'on crût que le déterminisme absolu avait trouvé un refuge dans ces ondes auxquelles on attribue la genèse des phénomènes intra-atomiques et dont les équations de propagation ont été établies par Schrödinger.

[1] Premier mémoire: « Les frontières de la Physique et de la Biologie » dans ce volume des *Archives*, p. 5-33.

Mais on ne tarda pas à reconnaître qu'il ne s'agissait pas là d'un déterminisme absolu, au sens historique et mécanique que l'on a coutume d'appliquer à ce mot. En effet, ces ondes qui donnent naissance aux divers constituants de l'atome ne sont pas des ondes comme celles de l'ancienne physique.

En premier lieu, *elles ondulent dans des espaces polydimensionnels.* Si, par exemple, *n* électrons se trouvent en présence, les systèmes d'ondes qui leur correspondent et auxquelles ces électrons doivent leur réalisation probable, sont supposées se propager dans un milieu à 3 *n* dimensions; leurs équations de propagation étant alors établies en conséquence [1].

En second lieu, ces ondes ne font pas, comme les ondes matérielles de l'ancienne physique, onduler de l'énergie, mais des « probabilités »; et les équations qui les représentent permettent alors de calculer seulement *la répartition probable de cette énergie.*

Nous voilà donc, avec ces probabilités, ramenés nécessairement et sous une autre forme à ce déterminisme statistique qu'on voulait éviter, sans qu'on ait réussi jusqu'ici à lui substituer un déterminisme absolu qui régnerait à l'origine même des phénomènes physiques et chimiques.

En résumé, il semble résulter de tout ce qui précède, que la notion d'un *déterminisme absolu* pourrait bien être une de ces notions que M. Langevin appelle « familières ». Elle nous viendrait, en grande partie du moins, de l'observation macroscopique des phénomènes et notamment de l'étude de la mécanique à notre échelle d'observation. Peut-être serons-nous appelés un jour à nous en débarrasser tout à fait au fur et à mesure des progrès de la science; comme nous avons cru devoir le faire déjà pour les notions de temps absolu, d'espace absolu et même de masse absolue avec la relativité.

Ce jour là, le déterminisme absolu ne nous apparaîtrait plus que comme une *illusion macroscopique.* Partout nous le verrions remplacé par un déterminisme statistique plus large qui, d'ailleurs, en ce qui concerne les phénomènes physiques et chimiques à nos diverses échelles d'observation, conserverait

[1] Voir note page 229: *La molécule de matière vivante.*

grâce aux compensations statistiques et à la loi des grands nombres, toutes les apparences d'un déterminisme rigoureux.

Note. — Hâtons-nous de dire qu'en mettant ainsi en quarantaine tout ce qui nous est familier, *on pourrait aller très loin* et prétendre par exemple que les notions de présent, de passé, d'avenir, de simultanéité ne sont aussi que des illusions macroscopiques; que c'est à tort que nous peuplons le sous-sol invisible sur lequel s'étagent nos phénomènes macroscopiques, de toutes ces images empruntées nécessairement au monde qui nous entoure.

Mais alors quand nous aurons renoncé à tout ce qui nous est « familier », que nous restera-t-il pour interprêter ce qui peut se passer dans ce sous-sol invisible ? Des formules, encore des formules et toujours des formules.

Fort heureusement, nous n'en sommes pas encore là et nous avons encore d'immenses territoires à explorer à l'aide de ces notions macroscopiques que nous appellons « familières ». Pour n'en citer qu'un, celui de la biophysique et de la biochimie macroscopiques, qui malgré les immenses progrès réalisés, peut être considéré comme un territoire encore presque vierge.

En définitive, il semble que la notion de déterminisme tende de plus en plus à devenir « relative », et qu'elle dépende en grande partie de l'échelle à laquelle il nous convient de nous placer. Dans chaque échelle, le déterminisme se trouve en effet modifié par des fluctuations individuelles imprévisibles.

Mais, si ce déterminisme statistique nous laisse l'espoir de calculer avec une extrême précision les phénomènes physiques et chimiques aux diverses échelles, il nous laisse cependant toujours ignorer les « causes premières » qui sont à leur origine. La variété et la nature même de ces causes peut être en quelque sorte infinie; une même loi statistique pouvant, ainsi que nous l'avons fait observer déjà, avoir les origines les plus diverses. Il serait bien facile d'en multiplier les exemples; nous reviendrons ailleurs plus en détail sur ce point.

D'ailleurs la substitution d'un déterminisme statistique au déterminisme absolu est toujours et malgré tout comme un aveu d'ignorance ou d'impuissance. De ce fait, le champ de la philosophie scientifique se trouve considérablement élargi; et cela sans qu'il soit nécessaire de préciser davantage, en attribuant, par exemple, comme on a voulu le faire parfois, une

sorte de libre arbitre partiel aux éléments moléculaires ou atomiques.

En définitive, il résulte de l'évolution actuelle de la physique que *nous sommes plus que jamais éloignés de pouvoir dire si notre monde — même ramené à ses seules manifestations physiques et chimiques — est soumis ou non à un déterminisme absolu.*

On peut, par ce qui précède, mesurer la répercussion profonde que les progrès de la physique moderne, exercent et exerceront encore sur l'évolution de la pensée philosophique.

Quelque paradoxal que cela puisse paraître, on peut dire que la physique moderne a fait progresser la philosophie scientifique, mais en la faisant reculer; c'est-à-dire, en la ramenant en deça des limites, au delà desquelles, par les philosophies positivistes qui ont caractérisé la seconde moitié du XIXe siècle, elle avait cru pouvoir s'aventurer.

Note sur la molécule de matière vivante. — Supposons que l'on veuille établir les équations des ondes correspondant à la constitution d'une molécule de matière vivante; ce qui, bien entendu, dans l'état actuel de la science, est une impossibilité totale. Supposons cette molécule formée de mille atomes seulement, chacun d'eux renfermant peut-être quelque cinquante électrons, protons, positrons, neutrons, etc...; il en résulterait que les ondes qui donneraient naissance à cette molécule de matière vivante devraient se propager dans un espace à cent cinquante mille dimensions ! ! ! Ce serait donc dans une géométrie à cent cinquante mille dimensions qu'il conviendrait de situer les calculs de propagation de ces ondes.

Voilà qui, à première vue, semble peu encourageant pour l'avenir des théories modernes de la physique mathématique.

Mais, fort heureusement, en raisonnant comme nous venons de le faire, c'est-à-dire en passant de géométries à quatre et cinq dimensions, telles que les usilisent les physiciens, à une géométrie à cent cinquante mille dimensions, *nous avons commis une extrapolation d'une telle hardiesse que les conséquences qui s'en dégagent n'ont plus aucune certitude ni même aucun sens.*

Il est en effet beaucoup plus plausible d'admettre qu'au fur et à mesure que la science progressera, les méthodes et les moyens de calcul se transformeront, comme ils se sont transformés d'ailleurs au cours de ces dernières décades; et que l'explication que l'on pourrait donner un jour de la molécule de matière vivante ne ressemblera pas plus à nos explications actuelles par des systèmes d'ondes que la mécanique de Newton ne ressemble au second principe de la thermodynamique ou à la mécanique ondulatoire.

La seule conclusion raisonnable que nous serions en droit de tirer de l'exemple précédent, est, que nous sommes encore prodigieusement éloignés d'une explication déterministe, « même statistique » de la molécule de matière vivante.

Cette conclusion est de nature à nous rendre modestes, sans cependant diminuer en rien notre admiration pour les théories délicates de la physique mathématique qui ont coûté de si prodigieux efforts et qui ont permis aux physiciens expérimentateurs de poursuivre leur marche en avant. N'oublions pas, en effet, que ces théories ont non seulement réussi à coordonner déjà un nombre immense de faits connus, mais qu'elles ont permis même d'en prévoir de nouveaux que l'expérience est venue magistralement confirmer.

2. — Le déterminisme dans les phénomènes biologiques.

Nous avons vu précédemment [1] que les manifestations vitales, telles que nous les envisageons à l'échelle macroscopique, sont comme les phénomènes physico-chimiques statistiques et les phénomènes moléculaires et atomiques fonction de la température.

Nous avons rappelé, ensuite, que les basses températures sont susceptibles de suspendre pratiquement l'activité physico-chimique, et que de même, ces basses températures sont susceptibles de suspendre l'activité vitale d'organismes inférieurs, sans pour cela les anéantir.

Il y a donc là un parallélisme impressionnant, entre les deux catégories de phénomènes (biologiques d'une part, physico-chimiques d'autre part) dont on ne saurait nier l'importance fondamentale. Il en résulte, en effet, que *l'activité vitale est toujours corrélative de l'activité physico-chimique et, comme elle, est fonction de la température.*

Mais, de ce parallélisme entre les phénomènes biologiques et physico-chimiques, il ne faudrait cependant pas se hâter de conclure que les manifestations vitales dans toute leur généralité, y compris l'activité psychique, doivent être soumises, comme les phénomènes physico-chimiques, à un déterminisme statistique quasi inéluctable.

Ce serait, croyons-nous, aller un peu vite en besogne; ce

[1] Premier mémoire, *loc. cit.*

serait en même temps faire trop bon marché des réalités sous-jacentes qui se passent à l'échelle moléculaire ou atomique sur lesquelles nous n'avons à l'heure actuelle, que bien peu de renseignements.

En premier lieu, comme nous l'avons fait remarquer déjà, deux phénomènes peuvent être identiques à l'échelle macroscopique statistique et ne plus l'être à l'échelle moléculaire.

Précisons d'abord ce fait par un exemple concret. Si nous photographions, après un temps déterminé, les positions qu'occupent un grand nombre de particules en suspension diffusant, par exemple, autour d'un centre en vertu du mouvement brownien; chaque fois que nous répéterons l'expérience, nous obtiendrons une configuration différente. Néanmoins, chacune de ces configurations, si les grains sont suffisamment nombreux satisfera à la loi statistique:

$$\frac{r^2}{r'^2} = \frac{t}{t'},$$

r et r' étant dans deux expériences successives, les « écarts moyens » ou les « écarts quadratiques moyens » qui leur sont d'ailleurs proportionnels[1]; t et t' les temps correspondants auxquels auront été prises les photographies.

La loi macroscopique est donc donnée par la formule précédente mais ce sont les diverses configurations qui représentent les réalités sous-jacentes.

De même, deux cm³ de gaz à 0° et 760 mm constituent à l'échelle macroscopique un même phénomène, soumis au déterminisme statistique que l'on appelle: la loi de Mariotte-Gay Lussac; mais en réalité chacun de ces cm³ peut correspondre, à l'échelle moléculaire, à une infinité de configurations différentes, quoique macroscopiquement équivalentes.

Si donc les manifestations vitales ont leur siège à l'échelle des actions moléculaires et atomiques (actions individuelles) tandis que les phénomènes physico-chimiques ne sont que statistiques, on conçoit alors, que d'une part, les phénomènes

[1] On peut en effet démontrer que le rapport entre le moyen carré de l'écart $\overline{\rho^2}$ et le carré de l'écart moyen $\bar{\rho}^2$ est égal à: $\frac{\pi}{4}$.

physico-chimiques (macroscopiques) et d'autre part les phénomènes biologiques, doivent nous paraître et nous paraîtront toujours former deux catégories distinctes de phénomènes, bien qu'obligatoirement le phénomène vital sous-jacent soit toujours associé au phénomène statistique physico-chimique macroscopique.

Qu'on nous permette maintenant, de pousser plus avant encore notre comparaison, et supposons, pour un instant, que chacune des configurations moléculaires d'une portion de matière cérébrale, corresponde à une pensée différente; toutes ces configurations diverses pourraient fort bien donner lieu, envisagées à l'échelle macroscopique, au même phénomène physico-chimique macroscopique, c'est-à-dire à la même réaction chimique; et l'on comprend mieux alors, pourquoi l'esprit doit nous apparaître comme indépendant des lois de la matière, tout en étant cependant indissolublement associé à elle.

De telles considérations sont bien entendu, à l'heure actuelle, du domaine du rêve; mais le fait que l'élément vital de la cellule ou du sérum pourrait bien être moléculaire et non micellaire (individuel et non statistique) constitue cependant en leur faveur une sorte de présomption.

3. — La notion d'individu en physique et en biologie.

Depuis plus d'un siècle, les physiciens et les chimistes se sont habitués à considérer l'univers comme formé par un nombre immense d'*individualités moléculaires et atomiques;* reprenant ainsi à leur compte la vieille conception de Démocrite, mais singulièrement précisée et complétée, par les nombreux apports dont l'expérience et l'observation l'ont successivement enrichie.

A ces individualités moléculaires et atomiques sont venues s'ajouter au fur et à mesure des progrès de la science, de nouvelles individualités auxquelles correspondent ce que l'on appelle les constituants de l'atome; l'*électron*, le *proton*, les *photons* ou *quanta de lumière*, le *positron*, le *neutron*, etc.; et il semble bien que la liste n'en soit pas encore épuisée.

Par analogie avec les particules macroscopiques que nous

observons à notre échelle, chacune de ces particules « discrètes », ainsi qu'on les appelait autrefois, est, bien qu'invisible, supposée former « comme un petit tout isolé de l'ensemble »; ce qui faisait dire à Henri Poincaré: « c'est parce qu'il est gardé par des douaniers sévères que l'atome est un individu ».

Aujourd'hui, nous sommes moins certains que ces molécules, ces atomes et leurs divers constituants correspondent bien à ce que nous avons coutume d'appeler macroscopiquement des particules ou plus généralement des objets.

En effet, comme l'a fait remarquer d'ailleurs M. P. Langevin [1] dans un magistral exposé, lorsqu'on cherche à soumettre ces innombrables individualités au calcul des probabilités pour en dégager nos lois physico-chimiques statistiques, la façon dont les statistiques doivent être établies, de manière à donner des résultats conformes à l'expérience, varie selon les cas, sans qu'on puisse en préciser exactement la cause cachée.

Tout cela a donc jeté un doute profond sur le droit que nous aurions d'assimiler molécules et atomes, etc., à des objets macroscopiques. Aussi M. P. Langevin pense-t-il que nous ferions peut-être mieux de ne pas leur conserver le nom de particules.

Il suffirait, nous semble-t-il, de se borner à les considérer seulement comme des « énergies ».

Nous savons, en effet, par le principe de relativité que tout ensemble doué d'inertie, c'est-à-dire matériel, équivaut à une énergie proportionnelle à cette inertie.

En substituant dans notre pensée, le mot « énergie » à celui de particule, nous avons l'avantage de laisser entièrement ouverte la question de savoir si ces énergies invisibles peuvent être assimilées ou non à ce que nous appelons macroscopiquement des objets, c'est-à-dire à des particules à contour délimité dans l'espace; qu'il s'agisse par exemple de molécules dites sphériques, ou même de molécules constituées par de petits systèmes planétaires, comme on a cru parfois pouvoir les représenter.

[1] P. Langevin, La notion de corpuscules et d'atomes. *Actualités scientifiques et industrielles*, 1934.

En d'autres mots, ces « énergies » tout en constituant des ensembles en quelque sorte indivisibles, ne sont pas nécessairement des objets à contour délimité, sur lesquels il est permis de raisonner statistiquement comme sur des grains macroscopiques [1]. Dans cette manière de voir, il y aurait donc lieu de distinguer diverses catégories d'énergie.

En premier lieu, l'*énergie particulaire*, correspondant aux particules macroscopiques du monde visible que nous pouvons appeler des grains; puis les énergies du monde invisible, à savoir les *énergies moléculaires et atomiques*, *l'énergie des photons*, *l'énergie des électrons*, *etc.*

* * *

Voyons maintenant comment ces diverses énergies se comporteront si on les soumet aux différentes méthodes statistiques actuellement utilisées par les physiciens dans leurs calculs.

Trois méthodes statistiques ont été jusqu'ici mises en usage à cet effet [2].

1° *La statistique de Gibbs-Boltzmann*, que l'on pourrait appeler statistique des énergies particulaires ou statistique des grains.

Qu'on nous permette de rappeler d'abord par un exemple concret comment cette statistique de Gibbs-Boltzmann, peut être schématisée.

Envisageons deux particules A et B (deux grains) et faisons la statistique des positions qu'ils peuvent occuper dans deux

[1] On remarquera que le champ d'un électron, au sein duquel est accumulée son énergie, s'étend théoriquement à l'infini; il en résulte que deux électrons voisins ont des champs qui se confondent: ils sont donc comme deux objets qui se pénètrent, et l'on ne peut plus dire alors au point de vue macroscopique qu'on ait affaire à deux objets distincts; pratiquement les électrons doivent être très rapprochés pour que les énergies de leur champ se superposent de façon sensible.

[2] Voir à ce sujet P. LANGEVIN, *loc. cit.*

compartiments. Nous aurons alors quatre possibilités, représentées:

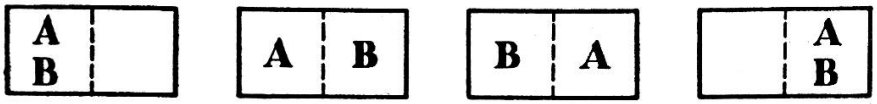

Fig. 1.

Si chacune de ces quatre configurations est également probable, la probabilité d'apparition de chacune d'elles sera $^1/_4$.

C'est de cette statistique de Gibbs-Boltzmann dont nous ferons usage lorsque nous aurons à calculer les probabilités d'apparition de telle ou telle configuration obtenue par brassage, dans un mélange de grains. C'est elle aussi que nous emploierons dans le calcul des probabilités relatif à divers jeux de hasard (brassage et distribution de cartes, par exemple).

Dans cette statistique, le nombre des cas probables, est alors égal à celui des *permutations* possibles et les résultats obtenus par le calcul sont justifiés « en moyenne » par l'expérience.

Mais si, par contre, nous essayons de transporter cette statistique des grains dans le domaine invisible du rayonnement électromagnétique (photons), elle nous conduit, avec le principe de l'équipartition de l'énergie, à la loi du rayonnement de Wien, laquelle est, comme on sait, contredite par l'expérience.

2° *La statistique de Bose-Einstein*, que nous pourrions appeler « statistique des quanta de lumière » ou de l'énergie des photons.

Pour schématiser cette deuxième statistique, nous supposerons que nous disposons, non pas de deux molécules (objets), mais de deux énergies moléculaires.

La statistique de Bose-Einstein admet alors, *a priori*, que les seules répartitions possibles de ces énergies dans deux compartiments seront:

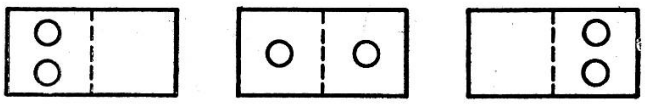

Fig. 2.

et que chacune de ces configurations a la probabilité $^1/_3$.

On sait qu'en appliquant cette statistique au calcul du rayonnement du corps noir, on est conduit à la loi de Planck, que confirme l'expérience.

Il est probable que cette statistique de Bose-Einstein puisse s'appliquer aussi aux énergies moléculaires et atomiques; elle conduirait alors au phénomène de la dégénérescence des gaz aux très basses températures, phénomène que l'expérience ne peut malheureusement pas atteindre encore avec les gaz réels.

3° Enfin la statistique de *Pauli-Fermi* que l'on pourrait appeler aussi « statistique des énergies électroniques ».

Il semble dans ce cas que deux énergies électroniques ne puissent se répartir dans deux compartiments que selon le schéma:

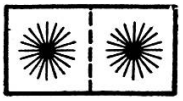

Fig. 3.

En d'autres mots, et pour employer le langage des physiciens, un compartiment de l'extension en phase à l'intérieur de l'atome ne peut jamais contenir qu'un électron ou pas d'électron; c'est à cela que conduit le principe d'exclusion de Pauli où l'on a voulu voir une preuve de l'impénétrabilité des électrons.

On voit, en résumé, que les façons diverses dont les statistiques doivent être établies dans le monde invisible (moléculaire, atomique ou électronique) nous conduit à renoncer à transporter dans ce sous-sol, comme l'appelle M. Langevin, la notion d'individu (objet) calquée sur nos grains macroscopiques, pour n'envisager comme probables que certaines répartitions de l'énergie.

Partant de l'idée que les molécules, atomes, etc., ne sont pas de véritables objets, M. Langevin en arrive à la conviction « que le caractère individuel en physique, comme en biologie, « est un caractère résultant de la complexité de structure, « que l'individu isolable et reconnaissable, n'apparaît qu'à

« partir d'un certain degré de complexité. Pour individualiser, « pour suivre et reconnaître un objet, il faut pouvoir distin- « guer un minimum de caractères, donnant un sens expéri- « mental à la personnalité. La notion de personnalité, dit-il, « me semble ne pas avoir de limite inférieure nette et se dégager « de plus en plus clairement à mesure que la structure se « complique » [1].

Ainsi, en adoptant le point de vue de M. Langevin, il semble que ce serait la complexité des ondes de Schrödinger qui donnerait naissance à ce qu'on peut appeler à la rigueur « l'individu électron », doué d'un certain nombre de propriétés expérimentales; à son tour la complexité de la répartition probable des électrons ferait naître les « individus atomiques » avec leurs propriétés nouvelles et ainsi de suite, jusqu'à la complexité de la matière vivante, qui aboutirait à la personnalité biologique (macroscopique); la seule qui méritât vraiment ce nom.

Cette façon de faire naître progressivement la notion d'individu, en la rattachant à des propriétés expérimentales de plus en plus complexes, a quelque chose de particulièrement séduisant. Elle nous semble cependant appeler quelques remarques qui, sans infirmer en aucune façon cette hypothèse, sont néanmoins de nature à en définir plus complètement les limites.

Complexité chaos et complexité organisée.

Lorsqu'on parle de complexité, il y a lieu, nous semble-t-il, d'en distinguer deux sortes.

1° La complexité incohérente, désordonnée; nous la définirons d'un mot, le « chaos ».

2° La complexité organisée, c'est-à-dire celle qui permet de faire apparaître les caractères, d'où découlerait précisément, selon Langevin, la notion d'individu et de personnalité.

Pour mieux faire comprendre quelle est, dans notre idée, la distinction entre ces deux sortes de complexités, on nous permettra d'avoir recours à des comparaisons et à des exemples.

[1] P. Langevin, *loc. cit.*

1° *Exemple.* — Une poudre (grise), composée de grains fins. blancs et noirs, intimément mélangés par agitation, constitue une « complexité » très grande, mais cette complexité est en réalité un « chaos ».

Nulle part, à l'échelle macroscopique (c'est-à-dire à distance dans ce cas) une région ne se distingue d'une autre. Il est alors impossible d'isoler une région quelconque de quelque étendue, dont les propriétés soient différentes et qui puisse, à l'échelle où nous nous sommes placés, être considérée comme un individu. Au contraire, s'il existe dans la masse de la poudre des régions où les grains noirs ou blancs, forment de petits amas, ces amas (organisés) auront des propriétés expérimentales différentes de celles des autres régions de la poudre et pourront alors, dans une certaine mesure, être assimilées à des « individus ».

2° *Exemple.* — Dans un gaz, envisagé à l'échelle moléculaire, chaque « énergie moléculaire » est une complexité organisée et peut être considérée, dans une certaine mesure, comme un individu, bien qu'elle ne soit pas nécessairement délimitée dans l'espace, comme le serait un grain.

Mais, à notre échelle d'observation, cette masse gazeuse n'est qu'un chaos, bien qu'elle renferme des milliards de milliards de ces individualités moléculaires énergétiques. Chaque portion du gaz de quelque étendue, ne se distingue, en effet, plus macroscopiquement des régions voisines et se trouve soumise à un déterminisme statistique très précis (loi de Mariotte-Gay Lussac), ayant toutes les apparences d'un déterminisme rigoureux.

3° *Exemple.* — Nous chauffons de la matière vivante à une température comprise entre cent et deux cents degrés; l'agitation thermique a pour effet de transformer de façon irréversible la complexité organisée qui lui donnait son individualité en une complexité chaos; et l'individualité biologique avec ses divers caractères disparaît alors.

En réalité, ce que nous appelons « complexité organisée » pourrait bien n'être en définitive — ainsi que nous l'avons exposé précédemment — qu'une « structure interne compor-

tant de puissantes dissymétries à l'échelle moléculaire ou atomique », structure ayant de ce fait sur le milieu qui l'entoure de très nombreuses possibilités d'action. Ce que nous appelons « complexité chaos » résulterait en définitive du fait que les compensations statistiques auraient annulé, pour l'échelle d'observation où nous sommes placés, les effets de ces puissantes dissymétries moléculaires.

Il importe de remarquer, cependant, qu'en introduisant cette distinction entre la complexité chaos et la complexité organisée, le finalisme que l'on croyait expulsé par la porte, est en réalité rentré par la fenêtre. C'est un démon dont l'obstination est grande, quel que soit d'ailleurs le nom ou la forme dont on l'affuble.

Je me souviens à ce propos d'une conversation que j'eus autrefois avec Gabriel Lippmann au sujet des lois statistiques. Il me fit alors la remarque suivante: « Ce qui me paraît différencier surtout la biologie de la physique, me dit-il, c'est qu'au sein des êtres vivants nous avons des « appareils » (pompes, canaux de circulation, instrument d'optique, etc.), en un mot des organes, tandis que dans le reste de la nature inorganique, nous voyons seulement des « phénomènes ».

Le mot « organisme » par lequel on qualifie le substratum de l'être vivant, paraît donc bien avoir été judicieusement choisi. Mais alors, qui dit organe, dit but et qui dit but dit finalisme. La question, on le voit, ne semble guère plus avancée.

Essayons cependant de repousser autant qu'il est possible ce finalisme sur lequel la recherche scientifique risque de s'endormir comme sur un oreiller de paresse, et cherchons à nous rendre compte comment, dans les idées actuelles, une complexité organisée (organe) serait susceptible de naître au sein du chaos des phénomènes statistiques qui, de façon générale, constituent à notre échelle d'observation, ce que nous appelons la physicochimie.

Imaginons, par exemple, pour fixer les idées, un chaos d'ondes élastiques sonores, présentant entre elles (avec, bien entendu, leurs fluctuations spaciales et temporelles) toutes les différences possibles de longueur d'onde, d'amplitude, de phase, etc., et parcourant l'espace dans toutes les directions.

Plaçons dans ce milieu un tube ouvert à ses deux extrémités (tuyau sonore ouvert). Ce tube va jouer le rôle d'un organe; en ce sens qu'il va triller et renforcer par interférences tous les sons d'une série harmonique; c'est-à-dire tout un ensemble de sons dont les nombres de vibrations sont comme la suite des nombres simples 1 2 3 4 5 6 ... n.

Par sa seule présence au sein d'un chaos d'ondes élastiques, ce tube est devenu un organe. Il constitue ce que nous avons appelé « une complexité organisée », jouissant, un peu à la manière d'un individu, de propriétés bien définies [1].

De même, il est permis de se représenter qu'un organisme vivant placé dans le milieu qui lui convient, c'est-à-dire au sein d'un chaos approprié de phénomènes physico-chimiques, constitue à la façon du tuyau sonore de tout à l'heure, une complexité organisée. Il réussit ainsi à faire naître et à mettre en évidence des propriétés nouvelles, auxquelles nous donnons les noms d'assimilation, de croissance, d'échanges respiratoires et nutritifs, etc.

Malheureusement, la réponse à la question qui nous intéresse n'est que reculée; et cela aussi bien dans le cas du tuyau sonore que dans celui de l'organisme vivant. Quelle est, en effet, la cause qui, en définitive, a disposé les molécules et les atomes

[1] On peut de façon analogue se représenter la formation du mouvement quantifié qui caractérise un électron gravitant autour de son noyau atomique. Les ondes qui accompagnent cet électron ne peuvent, en effet, se propager suivant une trajectoire circulaire que si cette trajectoire est un multiple exact de la longueur d'onde associée à l'électron, les autres longueurs d'ondes se trouvant éteintes par interférences. (Voir, par exemple, A. Berthoud, *Matière et Atomes*, p. 282.) On a alors $\frac{2\pi r}{\lambda} = n$; et comme la longueur d'onde associée a pour valeur $\lambda = \frac{h}{mv}$, il en résulte $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ qui est la condition de quantification de Bohr.

N'oublions pas, cependant, que les ondes de Schroedinger, dans le cas général, se meuvent dans des espaces polydimensionnels et transportent non de l'énergie, mais des probabilités de répartition de l'énergie; qu'enfin, les phénomènes intra-atomiques auxquels elles donnent naissance sont pratiquement indépendants de la température; à l'inverse des phénomènes atomiques, moléculaires et biologiques, auxquels nous avons voulu limiter exclusivement notre enquête.

de façon que leur ensemble constitue un organe. Cette construction de l'organe est-elle due à une fluctuation d'espèce très rare, présentant vraisemblablement quelque stabilité, du moins entre certaines limites de température, ou a-t-elle une cause plus profonde et plus mystérieuse? Comment se fait-il, enfin, que cette complexité organisée puisse se reproduire, sinon identiquement, du moins dans ses éléments essentiels, en quelque sorte indéfiniment dans toute la lignée de la descendance d'un être vivant?

La réponse à cette seconde question, d'ailleurs subsidiaire de la première qui n'est pas résolue, pourrait se trouver dans cette sorte d'immortalité du « germen » qui se transmettrait de génération en génération, pour reconstituer toujours les tissus germinaux des organismes nouveaux. Il semblerait, d'après les recherches effectuées, qu'après la fécondation, ce « germen » s'isolerait du reste de l'embryon pour ne pénétrer que plus tard dans l'organisme en formation et y constituer à nouveau les tissus germinaux; c'est-à-dire les cellules qui seront destinées plus tard à transmettre la vie et à amener la perpétuation de l'espèce [1].

Quoi qu'il en soit, on voit par tout ce qui précède, combien nous sommes encore éloignés de pouvoir conclure scientifiquement à l'existence ou à la non-existence d'un finalisme. Cette question, comme celle d'un déterminisme absolu qui régnerait à l'origine des phénomènes, est de celles qui dépassent de beaucoup les limites actuelles de la science et qu'il serait bien téméraire, croyons-nous, de vouloir trancher prématurément.

Genève, le 15 avril 1935.

[1] Voir à ce sujet le résumé remarquablement clair qu'a donné de la question de l'immortalité du germen, M. le prof. E. Guyénot: Les problèmes de la vie: « Soma et Germen ». *Journal de Genève* du 25 mars 1935.