

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 2 (1920)

Artikel: Le principe de Carnot et l'évolution physico-chimique des organismes vivants
Autor: Guye, C.-E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-742539>

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: 13.01.2026

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

LE PRINCIPE DE CARNOT

et l'évolution physico-chimique des organismes vivants¹

PAR

Ch.-Eug. GUYE

INTRODUCTION.

L'idée de voir dans le principe de Carnot une ligne de démarcation entre les phénomènes physico-chimiques et les phénomènes vitaux n'est pas nouvelle. Elle eut la bonne fortune d'avoir pour premier parrain l'illustre physicien Helmholtz qui s'était d'ailleurs borné à une simple remarque, en note de l'un de ses mémoires de thermodynamique². Mais depuis, cette hypothèse a été reprise et considérablement développée dans des écrits de portée plutôt philosophique et cela par divers auteurs. On la retrouve également, en substance, dans l'*Evolution Créatrice* de Bergson qui nous montre l'*élan vital* tendant partout à s'opposer à l'évolution physico-chimique résultant du principe de Carnot.

La façon dont les physiciens envisagent actuellement ce principe depuis les travaux de Gibbs et de Boltzmann nous a paru donner à la question un regain d'intérêt en permettant de mieux en préciser la signification.

Mais avant d'exposer ce nouveau point de vue, il ne sera pas inutile de rappeler brièvement quelques-uns des principaux

¹ Les idées exposées dans cet article ont fait l'objet d'une Conférence à l'Institut National Genevois, le 16 déc. 1919. Nous avons cru bien faire de leur donner ici un développement un peu plus étendu.

² *Gesamtabhandlung*, II, p. 972.

arguments qui ont été parfois invoqués en faveur d'une évolution physico-chimique vitale qui s'effectuerait en opposition ou même en contradiction avec le principe de Carnot.

Dans la première partie de notre exposé, nous nous placerons exclusivement au point de vue de la thermodynamique *classique*; nous réservant dans la seconde partie l'examen de la question à la lueur des conceptions modernes qui donnent au principe de Carnot une signification nouvelle et *moins absolue*.

Enfin nous consacrerons dans la troisième partie quelques pages à l'examen sommaire de la *portée philosophique* de la nouvelle conception du principe de Carnot.

PREMIÈRE PARTIE

LE POINT DE VUE DE LA THERMODYNAMIQUE CLASSIQUE.

Si l'on considère le principe de Carnot comme un *principe absolu* il n'y a pas de raison scientifique d'admettre qu'il ne soit pas applicable à la physico-chimie des organismes vivants. C'est ce que nous allons nous efforcer de montrer dans cette première partie.

Reprenons en effet quelques-uns des arguments qui ont parfois été mis en avant en vue d'infirmier ce principe.

§ 1. — *Le rendement élevé de la machine humaine.*

On a prétendu parfois que le rendement élevé de la machine humaine, comparé à celui des moteurs thermiques, pourrait infirmer le principe de Carnot.

Des études anciennes, confirmées d'ailleurs par des expériences plus récentes effectuées en Amérique et en Angleterre¹, ont en effet montré que la machine humaine est susceptible de transformer en énergie mécanique le 21 % de l'énergie chimique des réactions de la nutrition et de la respiration. On en a conclu avec raison que « si la machine humaine est une machine thermique obéissant aux lois de la thermodynamique » il devrait exister quelque part dans l'organisme ou

¹ *Revue Générale des Sciences*, octobre 1908.

le milieu ambiant deux sources de chaleur à températures très différentes.

Dans le cas d'un rendement de 20 % seulement ces températures devraient être $+ 115^{\circ}$ et $+ 37^{\circ},5$ si l'on considère la température du corps comme correspondant à la source froide ; $+ 37,5$ et $- 24^{\circ},6$ si l'on assimile le corps humain à la source chaude¹. Or, nulle part, ni dans le milieu ambiant ni dans l'organisme, on ne constate de telles différences de température. De plus il est bien peu probable que des températures aussi différentes puissent coexister dans des régions du corps très voisines l'une de l'autre et assez rapprochées pour que l'observation ne permette pas de les discerner.

Selon toute vraisemblance la machine humaine ne fonctionne donc pas comme une machine thermique; c'est-à-dire que l'énergie chimique des réactions de la respiration et de la nutrition n'y est pas transformée en chaleur pour être convertie ensuite en travail mécanique, par exemple par le jeu de phénomènes de dilatation, de vaporisation, etc., qui se produiraient au sein du tissu musculaire.

Un tel processus serait d'ailleurs particulièrement désavantageux et il serait bien singulier que la nature eût précisément choisi pour la production de l'énergie mécanique, dans les êtres vivants, le détour le plus dispendieux.

Mais le fait que la machine humaine ne fonctionne pas comme une machine thermique n'implique nullement que l'évolution physico-chimique au sein de l'organisme vivant soit en contradiction avec le principe de Carnot.

L'énergie chimique de la respiration et de la nutrition peut en effet être transformée en énergie mécanique par d'autres processus que par l'intermédiaire de la chaleur.

¹ On sait que le rendement *maximum* d'une machine thermique ne dépend que des limites de température entre lesquelles elle fonctionne; ce rendement maximum est atteint lorsque la machine thermique fonctionne suivant un cycle de Carnot; il a dans ce cas pour valeur $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$; T_1 et T_2 désignant les températures absolues des deux sources. Si l'on exprime les températures en degrés centigrades on a $\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 + 273}$. C'est en faisant $\eta = 0,20$ dans cette dernière relation que l'on obtient, selon l'hypothèse faite, les températures $t_1 = + 115^{\circ}$ et $t_2 = - 24^{\circ},6$.

Diverses hypothèses ont été parfois mises en avant et, parmi elles, l'une des plus séduisantes, du moins pour le physicien, consiste à voir dans le phénomène capillaire ou électro-capillaire se produisant au sein du tissu musculaire l'organe de cette transformation directe de l'énergie chimique en énergie mécanique; la structure cellulaire et finement vasculaire des tissus serait, semble-t-il, en faveur d'une hypothèse de ce genre, sans que l'on puisse en préciser le détail.

En d'autres mots, les actions chimiques qui se produisent dans le muscle auraient pour effet de modifier la nature des surfaces de contact des divers milieux constitutifs du tissu musculaire. Ces variations des constantes capillaires analogues à celles que l'on observe dans la polarisation électrolytique entraîneraient à leur tour les déformations qui caractérisent la contraction musculaire et cela avec production de travail mécanique.

Telle est en somme et dans ses grandes lignes l'idée directrice très ingénieuse de la théorie de M. d'Arsonval sur la contraction musculaire. Il ne nous appartient pas de la discuter au point de vue biologique, mais il nous suffira de remarquer que le rendement de transformations de ce genre peut être incomparablement plus élevé que celui des meilleures machines thermiques et théoriquement tout à fait compatible avec le rendement constaté de la machine humaine¹.

En résumé, on voit que l'on peut concevoir, en dehors du processus thermique, d'autres processus physico-chimiques qui seraient compatibles avec le haut rendement mécanique de l'organisme humain, sans être pour cela en contradiction avec le principe de Carnot.

Pour conclure nous dirons :

Le rendement élevé de la machine humaine ne prouve nullement que cette machine fonctionne contrairement au principe de Carnot; il prouve seulement qu'elle n'est pas vraisemblablement une machine thermique².

¹ D'après M. Chauveau, l'énergie chimique se transformerait directement en énergie élastique par l'intermédiaire des phénomènes d'osmose et cela avec un rendement qui pourrait être très élevé. Nous tenons à mentionner cette théorie qui nous paraît pénétrer plus profondément encore le mécanisme intime de la contraction musculaire.

² Cette dernière conclusion est, je n'en doute pas, admise actuellement

§ 2. — *La lutte présumée des organismes vivants contre la dégradation de l'énergie.*

On sait que le principe de Carnot a pour conséquence la dégradation de l'énergie ; c'est-à-dire qu'il a pour effet de rendre toujours moindre la quantité d'énergie transformable en travail mécanique. On peut donc à ce point de vue le considérer comme un *principe de mort* en ce sens qu'il entraînerait peu à peu notre Univers vers l'égalité de la température et vers ce que nous appelons, à *notre échelle*, l'immobilité.

Dès lors, on s'est demandé s'il n'existerait pas quelque correctif à cette fatale conséquence et l'on a cru parfois le trouver dans les phénomènes dont les organismes vivants seraient le siège.

Les êtres vivants, a-t-on dit, n'auraient-ils pas pour mission d'empêcher cette fatale dégradation de l'énergie et de lutter contre cette diminution progressive des réserves d'énergie mécanique ? Physiciens et philosophes se sont alors empressés de rechercher par quels moyens les organismes vivants seraient susceptibles de s'acquitter de cette mission.

Mais quelque suggestives que soient les considérations qui ont été invoquées à l'appui de cette thèse, on est forcé de reconnaître que leur base scientifique est très fragile. Il nous sera facile de le montrer par quelques exemples.

1^{er} exemple. — L'un des principaux arguments invoqués est l'énergie accumulée par les végétaux à la surface de notre globe.

En présence de la chlorophylle l'énergie solaire donne lieu, comme on sait, dans les végétaux, à des réactions endothermiques, c'est-à-dire à des réactions qui emmagasinent de l'énergie à l'état potentiel.

Si la vie végétale n'existait pas à la surface du globe, a-t-on dit, toute cette énergie solaire au lieu d'être emmagasinée dans les végétaux et plus tard dans les gisements carbonifères se dégraderait rapidement. C'est-à-dire qu'après avoir quelque peu élevé la température de l'écorce terrestre, elle ne tarderait pas à se dissiper par rayonnement dans l'espace, en vertu même du principe de Carnot.

par tous les physiologistes, bien qu'on ait encore parfois la déplorable habitude de comparer la machine humaine à une machine à vapeur qui transforme l'énergie chimique du charbon en énergie mécanique.

Il semble donc bien que la présence de la vie végétale, en emmagasinant cette énergie, ait eu pour effet, sinon pour but, de lutter contre la dégradation de l'énergie.

Mais, sans contester le rôle que les organismes vivants et particulièrement les végétaux peuvent jouer à cet égard, il importe cependant de remarquer que *des processus purement physico-chimiques peuvent aussi et dans une large mesure retarder cette dégradation de l'énergie*. Telle est, par exemple, l'évaporation qui se produit à la surface des océans.

Si la surface des mers était recouverte d'une couche d'huile l'évaporation serait insensible et la chaleur reçue se dégraderait rapidement, en se dissipant par rayonnement dans l'espace à l'état de chaleur obscure.

Par l'évaporation, au contraire, l'eau est soulevée dans l'atmosphère aux dépens de l'énergie solaire, pour retomber ensuite sous forme de pluie donnant naissance aux cours d'eau, lesquels seront susceptibles de produire du travail mécanique.

L'évaporation a de cette façon, comme les organismes végétaux, lutté contre une dégradation immédiate de l'énergie.

Si donc, l'on veut parler de lutte contre la dégradation de l'énergie, on aurait tort d'en attribuer aux processus vitaux le monopole exclusif, puisque comme nous venons de le faire, on peut imaginer des processus physico-chimiques plus ou moins avantageux à cet égard, sans qu'il soit d'ailleurs possible d'établir de façon précise leur efficacité respective¹.

2^{me} exemple. — Prenons notre second exemple dans le règne animal.

Nous venons de rappeler que l'énergie mécanique des cours

¹ Il est difficile en effet de se rendre compte dans quelle mesure l'évaporation peut retarder la dégradation de l'énergie. Nous savons qu'elle donne naissance aux cours d'eau et qu'elle est ainsi susceptible de transformer annuellement en énergie mécanique une grande quantité d'énergie solaire. Mais si aucune autre intervention ne se produit, cette énergie mécanique ne tarde pas, comme on sait, à se dégrader à son tour en se convertissant presque entièrement en chaleur, — la force vive des cours d'eau s'annulant en grande partie par suite du frottement de l'eau sur elle-même et de sa friction contre le sol.

L'évaporation ne semble donc qu'avoir apporté un retard à la dégradation de l'énergie. Mais ce retard est peut-être plus considérable qu'on ne

d'eau ne tarde pas à se dégrader en se transformant presque entièrement en chaleur. Mais que le génie de l'homme intervienne et qu'il dispose des turbines et des dynamos sur le trajet de l'eau en mouvement, une partie de cette énergie de chute pourra être mise en réserve: par exemple dans la fabrication d'explosifs, dont la puissance mécanique sera utilisée plus tard, en temps voulu. Par son intervention, dira-t-on, l'homme semble bien avoir eu le pouvoir de lutter contre la dégradation de l'énergie.

A cela on pourrait objecter, avec autant de raison, que si le psychisme de l'homme lui permet de lutter contre la dégradation de l'énergie en emmagasinant les énergies de la nature, il lui permet non moins aisément de la précipiter. Le gaspillage des gisements carbonifères qui caractérise notre civilisation n'accélère-t-il pas cette dégradation de façon particulièrement inquiétante ?

Si nous avons à formuler quelque conclusion à ce sujet, nous serions plutôt disposé à admettre avec M. Dastre et d'autres auteurs que la présence des végétaux a pour effet d'emmagasiner lentement des réserves d'énergie et cela en partie au profit des animaux qui ont la faculté de les utiliser et même de les dégrader en un temps parfois extrêmement court.

Cette conception a du moins l'avantage de montrer qu'il doit s'établir d'une part un équilibre entre les organismes vivants des deux règnes et d'autre part une lutte entre les diverses espèces animales pour l'accaparement de cette énergie non dégradée indispensable à leur existence.

Mais laissons de côté cette question qui nous entraînerait très

se l'imaginer, car pour l'évaluer il faudrait connaître la durée moyenne du séjour de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, depuis l'instant où elle est arrachée à la surface liquide de l'océan, jusqu'à celui où des circonstances spéciales lui permettent de se résoudre en pluie. L'atmosphère est en effet comme un immense réservoir de vapeur d'eau, qu'alimente l'évaporation et dont le trop plein seul, représenté par l'état de sursaturation, donne lieu aux précipitations atmosphériques.

Il est donc assez difficile de se rendre compte dans quelle mesure ce processus purement physico-chimique retarde la dégradation de l'énergie et quelle peut être son importance relativement à celle qu'on attribue aux végétaux dans cette lutte présumée contre la dégradation de l'énergie.

loin de notre sujet et qui n'est d'ailleurs pas celle qui nous intéresse.

En résumé, on voit par ces exemples combien il est facile d'argumenter pour ou contre cette thèse d'une lutte de la vie contre la dégradation de l'énergie. Aucun de ces prétendus arguments scientifiques ne pouvant d'ailleurs être soumis au contrôle d'une vérification rigoureuse, on conçoit que l'on puisse aisément les multiplier, et que l'on doive les considérer non comme des preuves, mais comme de simples présomptions dont la valeur scientifique est plus apparente que réelle.

§ 3. — *Les organismes vivants auraient-ils la faculté d'utiliser l'énergie intra atomique ?*

Nous sommes ici en présence d'une hypothèse *toute gratuite*, mais que peut suggérer la découverte des corps radioactifs, susceptibles, comme on sait, de libérer une quantité énorme d'énergie, sans qu'il en résulte pour eux une perte appréciable de poids.

Si les êtres vivants avaient la faculté d'utiliser l'énergie intra atomique, il en résulterait que leur physiologie échapperait « en apparence » au principe de la conservation de l'énergie, du moins tel qu'on l'a envisagé jusqu'ici en physicochimie. En d'autres mots, l'utilisation de l'énergie intra atomique par l'être vivant lui donnerait toutes les apparences d'un créateur d'énergie.

Mais, pour donner à cette hypothèse quelque valeur, il faudrait prouver que l'énergie dépensée sous diverses formes par l'animal est notablement plus grande que celle qui correspond à la combustion des aliments qu'il ingère.

Admettons par exemple que les progrès de l'aérodynamique dans le domaine expérimental nous permettent d'évaluer avec quelque précision le travail mécanique minimum développé par le vol d'une hirondelle pendant les quelques heures au cours desquelles elle s'adonne quotidiennement à cet exercice ; qu'à cette énergie nous ajoutons sa perte d'énergie calorifique par rayonnement et convection, perte qui doit être très notable puisque la température de l'oiseau (42°) est généralement très supérieure à celle du milieu ambiant. D'autre part, nous pourrions évaluer au moyen de la bombe calorimétrique la chaleur de combustion

de la ration quotidienne de moustiques, mouches, etc., qui constituent sa nourriture et qu'elle attrape dans son vol. En effectuant une petite correction pour la puissance calorifique résiduelle des déchets journaliers, on aurait les principaux éléments pour établir un bilan d'énergie, sinon exact, du moins approché. Dans le cas où l'énergie dépensée serait *très notablement* supérieure à l'énergie reçue, on pourrait alors avec quelque raison faire intervenir l'hypothèse d'une utilisation par l'animal de l'énergie intraatomique.

Si nous avons choisi l'exemple du vol de l'hirondelle, c'est qu'à première vue il ne semble pas que l'ingestion d'un moustique puisse subvenir à la dépense de nombreux coups d'ailes et au maintien correspondant de la température de l'oiseau.

Mais l'apparence peut fort bien être trompeuse. Le vol de l'hirondelle peut en effet nécessiter beaucoup moins d'énergie que nous ne le supposons ; car nous ne savons pas dans quelle mesure l'oiseau peut utiliser l'énergie du vent dans son vol, ni de quelle façon exactement son plumage le protège contre la déperdition de chaleur.

Il manque donc trop d'éléments pour que le problème puisse être tranché dans un sens ou dans l'autre et jusqu'à preuve du contraire nous devons donc considérer l'hypothèse de l'utilisation de l'énergie intraatomique par les êtres vivants comme absolument gratuite. Nous ne nous y arrêterons donc pas plus longtemps, d'autant plus que les expériences effectuées en Amérique sur l'homme ont conduit à un bilan à peu près exact.

§ 4. — *Existe-t-il des processus physico-chimiques capables de faire diminuer l'entropie du système qui les comprend.*

Lorsque nous avons parlé de la lutte présumée des organismes vivants contre la dégradation de l'énergie, nous avons dit que certains processus, la croissance des végétaux, par exemple, pourraient avoir pour effet de *retarder* la dégradation de l'énergie.

Mais, il ne s'agit pas de savoir si des processus vivants, catalytiques ou autres sont susceptibles de retarder plus ou moins la dégradation de l'énergie, il s'agit de rechercher si ces processus sont en contradiction ou non avec le principe de Carnot ; si ces

processus pourraient, par exemple, faire *diminuer* l'entropie du système qui les comprend.

Si tel était le cas on pourrait concevoir qu'un être vivant, un poisson par exemple, pourrait coordonner à son profit le mouvement d'agitation thermique de l'eau qui le baigne pour la transformer en énergie mécanique dirigée, réalisant ainsi, contrairement au principe de Carnot, une machine thermique, fonctionnant avec une seule source de chaleur ; le poisson ayant sensiblement la même température que celle de l'eau.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre il ne sera peut-être pas inutile d'illustrer d'abord par un exemple la distinction fondamentale qui existe entre un processus qui a pour effet de *retarder l'accroissement* de l'entropie d'un système isolé d'avec un processus qui, en contradiction flagrante avec le principe de Carnot, du moins tel que l'envisage la thermodynamique classique, parviendrait à produire une diminution de cette entropie.

Supposons que nous ayons deux gaz différents (hydrogène et oxygène) à la même pression, à la même température et primitivement séparés. Lorsque les deux masses gazeuses se seront mélangées par diffusion, on sait que l'entropie du système aura augmenté, conformément au principe de Carnot. Mais supposons qu'au lieu de laisser la diffusion s'effectuer librement, les deux gaz soient séparés par une cloison poreuse sans action chimique sur chacun d'eux ; cette cloison aura pour effet de contrarier la diffusion et de *retarder* l'accroissement de l'entropie, ce qui n'a rien de contraire au principe de Carnot.

Admettons d'autre part, pour un instant, que le mélange du gaz étant effectué, il soit possible de trouver un diaphragme dissymétrique qui ne laisse passer que les molécules à grande vitesse (hydrogène) *dans un sens* et les molécules à petite vitesse (oxygène) *en sens opposé*. Ce mystérieux diaphragme aurait la propriété d'effectuer à nouveau, sans apport d'énergie étrangère, la séparation des deux gaz ; il aurait réussi à diminuer l'entropie du système *par sa seule présence* et jouerait ainsi un rôle analogue au démon métaphysique de Maxwell.

Or, nous ne connaissons pour l'instant aucun processus physico-chimique — catalytique ou autre — qui jouisse de la pro-

priété de ramener dans ces conditions l'entropie d'un système isolé à une valeur moindre.

Tous les dispositifs qui, à notre connaissance, ont été invoqués ou imaginés en vue d'infirmer le principe de Carnot, tel qu'il résulte de la thermodynamique classique, n'ont pas résisté à un examen critique approfondi. Tel est en particulier le cas de l'un des plus ingénieux : la séparation des molécules chaudes d'une atmosphère gazeuse par un champ de gravité. M. le prof. Berthoud¹ a montré récemment dans une étude critique minutieuse que cette séparation s'effectue elle aussi avec augmentation d'entropie si l'on tient compte de la variation de volume qui accompagne la séparation.

Jusqu'à preuve du contraire nous devons donc admettre que tous les processus connus ne peuvent que retarder l'accroissement de l'entropie. C'est la conclusion qui s'impose actuellement, du moins si l'on se place au seul point de vue de la thermodynamique classique.

§ 5. — *Conclusions de la première partie.*

Si l'on considère le principe de Carnot comme un principe absolu dans l'évolution inorganique, il n'y a aucune raison scientifique d'admettre que ce principe ne soit pas applicable à l'évolution physico-chimique des organismes vivants.

1° Le rendement élevé de la machine humaine n'infirme nullement le principe de Carnot, il prouve seulement que, selon toute vraisemblance, cette machine n'est pas une machine thermique.

2° Le fait que la présence d'organismes vivants et particulièrement des végétaux soit plus avantageux pour retarder la dégradation de l'énergie que l'échauffement pur et simple de l'écorce terrestre par la chaleur solaire, n'implique aucune contradiction avec le principe de Carnot, pas plus que l'évaporation qui se produit à la surface des océans et qui, elle aussi, semble retarder cette dégradation de l'énergie. Si les végétaux ont accumulé de l'énergie potentielle, c'est aux dépens de l'énergie ultraviolette lumineuse et infrarouge de faible longueur d'onde qui leur vient du soleil. Mais, dans la transformation, cette énergie s'est

¹ BERTHOUD. *Journ. de Chimie physique*, 31 déc. 1919, p. 616 et suiv.

partiellement dégradée en énergie de grande longueur d'onde de moindre valeur thermodynamique. Rien n'autorise à admettre que l'opération ne solde pas en définitive et dans son ensemble par une augmentation de l'entropie conformément au principe de Carnot.

3° Nous ne connaissons jusqu'ici aucun processus physico-chimique, catalytique ou autre, susceptible de faire diminuer l'entropie d'un système isolé qui le comprend.

On voit donc en définitive que, si l'on se place au point de vue de la thermodynamique classique, rien n'autorise à admettre que le principe de Carnot soit limité à l'évolution physico-chimique du monde inorganique. Il n'y a donc rien de surprenant que nombre d'excellents esprits aient accepté la généralité de ce principe qui régirait ainsi en maître absolu aussi bien l'évolution des organismes vivants que celle du monde de la matière inorganisée.

Et cependant il est impossible de ne pas être frappé des différences considérables qui séparent l'évolution physico-chimique vitale de celles de nos réactions *in vitro* qui ont servi à établir le principe de Carnot.

C'est d'abord tout un ensemble de propriétés sur lesquelles il serait presque banal d'insister et dont la réunion sert en quelque sorte à définir la matière vivante.

Qu'il suffise de rappeler cette impossibilité pratique où nous sommes de faire dériver la vie autrement que de la vie elle-même ; puis ces phénomènes si complexes qui accompagnent la naissance, le développement, la reproduction et la mort des êtres vivants. Cette tendance qu'a la vie à s'étendre toujours plus lorsque les éléments du milieu extérieur lui en fournissent la possibilité ; ces échanges judicieux qui caractérisent l'assimilation ; ces adaptations qui ont toutes les apparences de l'intelligence et qui vont par exemple jusqu'à construire avec une sûreté remarquable un appareil d'optique au sein d'un organisme vivant. Bref, cette *volonté de vivre, apparente ou réelle*, que l'on retrouve d'un bout à l'autre de l'échelle des êtres vivants et qui, à tort ou à raison, donne à l'évolution vitale toutes les apparences d'un finalisme. Enfin, pour faire disparaître tout

ce merveilleux ensemble, il suffit de secouer quelque peu les édifices moléculaires, par l'agitation thermique, en élevant la température des organismes un peu au delà de cent degrés.

Il y a là tout un ensemble de faits qui autorisent à penser qu'il y a dans l'évolution physico-chimique vitale quelque chose, sinon de totalement différent, du moins de plus compliqué ou de *plus général* que ce que nous observons dans le monde inorganique.

DEUXIÈME PARTIE

LE POINT DE VUE DE LA THERMODYNAMIQUE STATISTIQUE.

Nous venons de voir que si l'on envisage le principe de Carnot comme un principe absolu, il n'y a aucune raison scientifique de supposer qu'il ne soit pas applicable à l'évolution physico-chimique des organismes vivants.

Voyons maintenant quelles modifications la conception actuelle de ce principe peut apporter à cette conclusion.

§ 1. — *La conception actuelle du principe de Carnot.*

Rappelons d'abord que le principe de Carnot, tel qu'on l'envisage aujourd'hui, est considéré comme un principe statistique. Si les conclusions qu'on en tire, relativement à l'évolution des phénomènes physico-chimiques, ont toute l'apparence d'une certitude absolue, ce ne serait qu'à la loi des grands nombres que nous devrions cette illusion. Cette évolution physico-chimique, si précise et si déterminée qu'elle apparaisse, ne serait en réalité que la marche vers les désordres les plus probables parmi tous les désordres possibles. Elle nous laisse en effet ignorer les actions individuelles qui peuvent s'exercer entre molécules, atomes ou électrons, pour nous livrer seulement le résultat statistique d'ensemble, que nous appelons loi physico-chimique.

Nous avons développé ailleurs¹ cette conception moderne du

¹ J. de Chim. Phys., t. 15, p. 215-272. L'évolution des phénomènes physico-chimiques et le calcul des probabilités.

principe de Carnot et l'avons illustrée par un exemple que nous rappellerons ici très brièvement.

Lorsqu'on agite ensemble un mélange de grains blancs et noirs en nombre égal, on obtient toujours, après un brassage suffisamment long, une poudre grise uniforme. Ce résultat est « presque » fatal, parce que parmi tous les désordres possibles, ceux qui produisent sur notre œil cette impression de gris sont incomparablement et de beaucoup les plus nombreux. Cette évolution, en quelque sorte inéluctable, vers la poudre grise, fournit une image très nette de l'évolution physico-chimique selon le principe de Carnot.

Mais que l'on veuille lutter contre cette loi statistique qui tend à produire la poudre grise, deux moyens seront à notre disposition.

Le *premier* consisterait à agir sur chaque grain isolément. En les triant un à un par exemple, on pourra reproduire la séparation initiale des deux catégories de grains et l'on triomphera de la sorte de la loi statistique du brassage. C'est ce que réussirait à faire dans un mélange de gaz le démon métaphysique de Maxwell, qui dans l'évolution physico-chimique est avec raison assimilé à un « tricheur ».

De même on pourrait supposer qu'il y a dans les organismes vivants un agent spécial (véritable démon de Maxwell) et que cet agent que l'on peut appeler si l'on veut principe vital est quelque chose de suffisamment tenu, capable d'agir sur les molécules isolément. Il en résulterait qu'au sein des organismes vivants, l'évolution physico-chimique ne s'effectuerait plus nécessairement vers les états les plus probables, comme le veut le principe de Carnot et que nous aurions ainsi une évolution physico-chimique différente chez les êtres vivants¹.

Une telle conception conduirait naturellement à des philosophies dualistes, mais, au point de vue strictement scientifique elle a l'inconvénient d'introduire gratuitement, avec le principe vital, un élément nettement métaphysique. Il serait donc déplacé de nous y arrêter plus longtemps dans cette revue.

¹ Nous avons mentionné déjà cette hypothèse *J. de Chim. Phys.*, loc. cit.

Le *second moyen* dont nous disposons pour lutter contre la loi statistique qui tend à produire la poudre grise, consiste à prolonger purement et simplement le brassage jusqu'à ce qu'une *fluctuation d'espèce très rare* ramène la séparation primitive. Comme le disait déjà Hérodote : « Qu'on prodigue le temps, tout le possible arrive ! »

Mais ce moyen est désespérément long, dès que la poudre ne se compose plus d'un très petit nombre de grains. Il devient une impossibilité, sinon théorique du moins « pratique », si on cherche à l'appliquer à un système composé d'innombrables molécules ; et cette impossibilité pratique est comme on sait, la raison d'être du principe de Carnot tel qu'on l'envisage actuellement. C'est en vertu de ce principe que l'agitation thermique est pratiquement impuissante à séparer deux gaz une fois mélangés. Leur séparation, si elle se produisait sous l'action seule de cette agitation thermique, aurait pour nous toutes les apparences d'un miracle ; en ce sens que l'événement serait contraire à toute prévision scientifique basée sur le principe de Carnot envisagé comme un principe absolu.

Mais la conception actuelle du principe de Carnot a précisé-ment pour effet de ne pas exclure la possibilité de ce miracle ; c'est-à-dire qu'entre les possibilités que prévoit l'évolution physico-chimique vers les états les plus probables, il y a place encore pour d'autres possibilités ; il y a place pour ce que l'on appelle les *fluctuations*¹.

§ 2. — Possibilité des fluctuations dans les organismes vivants.

Mais quelle peut être l'importance des fluctuations au sein d'un organisme vivant ?

Les fluctuations qui peuvent se produire dans un élément de volume donné sont, d'une façon générale, d'autant plus importantes que l'élément homogène considéré renferme un plus petit nombre de molécules. *La réponse à la question précédente dépendra donc du degré de ténuité que nous attribuerons à la structure des tissus et de la matière vivante.*

Or ce que l'on sait de la structure du protoplasma, la matière

¹ Pour les considérations sur les fluctuations, voir *J. de Chim. Phys.*, *loc. cit.*

vivante sous sa forme la plus simple, nous révèle une extrême complexité. Cette hétérogénéité défie, semble-t-il, le microscope puisque au delà des microsomes qui paraissent être les plus petits éléments perceptibles au microscope, les biologistes ont été amenés à supposer une hétérogénéité plus grande encore par diverses hypothèses et particulièrement par l'hypothèse des micelles, sortes d'agrégats de molécules. Or toute cette complexité se trouve localisée dans l'élément vital, la cellule, dont le diamètre n'excède souvent pas quelques millièmes de millimètre.

En d'autres mots nous pouvons considérer l'organisme vivant qui constitue une cellule comme une sorte de mosaïque formée de la juxtaposition d'un très grand nombre d'éléments homogènes très petits ; et plus ces éléments homogènes seront petits moins ils renfermeront de molécules et plus les fluctuations auront d'importance au sein de chacun d'eux.

On conçoit donc que dans une structure hétérogène suffisamment ténue, plus ténue que celles que le pouvoir séparateur du microscope et de l'ultramicroscope peuvent nous révéler, les fluctuations pourront prendre une importance telle que les lois de l'évolution physico-chimique cellulaire ne seront plus celles de notre physico-chimie spéciale où les fluctuations sont presque toujours entièrement négligeables.

La physico-chimie au sein des organismes vivants, qu'on a coutume d'appeler « physiologie », serait donc une *physico-chimie plus générale* que celle qui résulte de nos expériences habituelles de physique et de chimie, dans lesquelles les plus petits grains homogènes de matière que nous mettons en présence renferment presque toujours des centaines de milliards de molécules et pour lesquelles l'évolution physico-chimique s'effectue toujours pratiquement selon le principe de Carnot.

Mais dira-t-on, les colloïdes sont des matières extrêmement divisées et pourtant ces substances colloïdales sont soumises à des lois précises. Nous pouvons en effet constater leur pression osmotique, mesurer leur vitesse de diffusion, etc. ; c'est incontestable. Mais les lois précises que nous réussissons à dégager de ces mesures sont toujours des lois d'ensemble, des lois statistiques. Elles ne s'appliquent pas à l'évolution d'un granule individuellement, mais à un ensemble composé d'un nombre très grand

de granules ; et ce n'est qu'à cet ensemble que le principe de Carnot reste applicable et non à l'évolution de chacun d'eux. Il n'y aurait donc rien de très surprenant à ce que le principe de Carnot ne fut pas applicable à l'évolution physico-chimique d'un élément aussi hétérogène que celui d'une cellule ou de ses constituants. D'autre part, comme les êtres vivants, même les plus complexes, ne sont que le résultat d'une prolifération cellulaire, il n'est pas absurde, en vertu de l'extrême hétérogénéité de la cellule, d'admettre que l'évolution physico-chimique des êtres vivants échappe, partiellement du moins, au principe statistique de Carnot, tel qu'il résulte de la physico-chimie du monde inorganique. *Le caprice des fluctuations pourrait donc pour cette raison jouer quelque rôle dans l'évolution physico-chimique cellulaire, c'est-à-dire dans le développement des êtres vivants.*

Essayons cependant de préciser les considérations qui précèdent par quelques chiffres.

On peut déterminer assez exactement à l'heure actuelle le nombre de molécules contenues dans un cube d'un micron de côté¹. Pour des molécules d'eau, auxquelles par raison de simplicité nous supposerons la formule H_2O , ce nombre est d'environ trente quatre milliards ; et il est à présumer que dans ces conditions le volume élémentaire d'un micron cube n'est pas encore assez petit pour que les fluctuations y prennent généralement quelque importance.

Mais les molécules de la chimie organique et particulièrement celles qui entrent dans la constitution des substances albuminoïdes sont autrement plus compliquées ; le poids moléculaire attribué par exemple par quelques chimistes à l'invertine, serait d'environ 54 000. On conçoit donc que le nombre des molécules comprises dans un microncube serait alors près de 3000 fois moindre, à densité égale, ce qui nous ramènerait seulement à un nombre de molécules de l'ordre de dix millions au micron cube. Dans ces conditions la possibilité d'apparition d'une fluctuation importante ne semble pas devoir être encore bien considérable.

Mais n'oublions pas que *ce serait une erreur grossière d'assimiler une cellule dont le volume est de quelques microns cubes à*

¹ Ce nombre se déduit de la connaissance assez exacte que l'on a maintenant du nombre d'Avogadro.

un élément homogène alors que nous savons par les études microscopiques du protoplasma, combien cette substance est hétérogène. En dehors des microsomes que peut révéler le pouvoir séparateur du microscope, les biologistes, avons-nous vu, ont dû faire appel, pour expliquer les propriétés du protoplasma et le fonctionnement de la cellule à diverses hypothèses, en particulier à celle des micelles, qui pousse la différenciation de la matière vivante bien au delà de celle que nous révèle le microscope ou même parfois l'ultramicroscope.

Il en résulte que les volumes élémentaires que l'on peut considérer comme homogènes dans une cellule, sont incomparablement plus petits que le micron cube et le nombre de molécules que chacun d'eux renferme est par conséquent très inférieur aux chiffres que nous venons de citer.

A cette considération s'en ajoute une autre non moins importante. La fine structure hétérogène de la matière vivante n'est pas le seul facteur qui puisse donner aux fluctuations statistiques une importance particulière. A certains *points singuliers de l'évolution physico-chimique* ces fluctuations sont susceptibles de prendre une importance exceptionnelle. Tel est en particulier le cas, en physique, du point critique, où la compressibilité d'un fluide tend à devenir infinie. Il en résulte que la moindre variation accidentelle de pression, se produisant à l'intérieur du fluide, a pour conséquence une énorme variation de la densité. Les fluctuations de densité prennent alors une amplitude relativement très grande; d'où le phénomène bien connu de l'opalescence critique.

Un cube d'un micron de côté, au voisinage du point critique, renfermerait approximativement cent millions de molécules et la fluctuation *moyenne* de densité serait dans ces conditions d'environ 2% ¹; ce qui signifie que les fluctuations *individuelles* autour de la densité moyenne doivent atteindre fréquemment des amplitudes autrement considérables.

Au voisinage immédiat du point critique le phénomène physico-chimique échappe donc au principe de Carnot; en ce sens que si l'on envisage un élément de fluide non pas infiniment

¹ PERRIN, les Atomes.

petit, mais de l'ordre de grandeur de ceux que le microscope nous permet d'étudier, il devient impossible de prévoir par des considérations thermodynamiques quelle sera sa densité à un instant donné. De même qu'il est impossible de prévoir par les lois statistiques de la physico-chimie, quelle sera à un moment donné la trajectoire d'un granule agité par le mouvement brownien.

Cette trajectoire individuelle échappe à toutes nos prévisions physico-chimiques et elle n'est pas moins capricieuse, en apparence du moins, que celle que décrirait sous le microscope tel ou tel infusoire ; mais nous nous garderons bien cependant d'affirmer pour cela que le granule est vivant et nous ferons bien d'être réservé à cet égard.

Les déplacements d'un granule agité par le mouvement brownien, ne paraissent en effet suivre aucune loi, en ce sens qu'il n'est pas possible de déduire du mouvement actuel de la particule quel sera son mouvement futur. Ce mouvement est comme on dit, *non coordonné* ; il ne paraît régi que par le caprice inconnu de l'agitation thermique et le principe de Carnot ne lui est applicable que sous certaines réserves. Nous ne dirons cependant pas, pour cela que le granule est *vivant*. En effet, si le mouvement de ce granule n'est à première vue pas moins capricieux que celui d'un infusoire que nous observons sous le microscope, d'autre part il ne possède obligatoirement aucune des autres propriétés qui ont servi à définir la matière vivante (différentiation de ses parties, naissance, croissance, échanges avec le milieu ambiant, reproduction, mort, etc.). Au contraire le mouvement du granule persiste *indéfiniment*, tant que les conditions du fluide qui le baigne restent les mêmes et sans qu'il y ait d'échanges chimiques avec lui ; on l'observe en particulier dans les inclusions liquides de certains cristaux naturels, formés vraisemblablement depuis des centaines de siècles.

En outre, si capricieux que soit le mouvement brownien il est soumis cependant à des lois d'ensemble. Si au lieu d'envisager *un* seul granule, nous considérons *un très grand nombre de granules semblables* en suspension, on s'aperçoit que le déplacement *moyen* de ces granules est bien régi par le principe de Carnot et l'on retrouve ainsi les lois physico-chimiques de la diffusion.

Mais le fait que le mouvement brownien soit soumis à des lois statistiques ne suffirait pas à le distinguer du mouvement des êtres vivants.

Supposons par exemple un grand nombre d'infusoires, tous de structure semblable, ayant même mode de nutrition et de reproduction et se déplaçant approximativement dans un plan liquide horizontal correspondant à la pression hydrostatique qui leur convient. Si nous admettons, ce qui n'est nullement absurde, que la surface explorée *en moyenne* par un infusoire autour de la position qu'il occupe est proportionnelle au temps, nous retrouverions exactement la loi statistique du déplacement brownien¹. Une même loi statistique peut avoir des origines très diverses ; nous reviendrons sur ce point dans notre troisième partie. Ne voyons-nous pas d'ailleurs les compagnies d'assurance, malgré la complexité des causes de mort, établir des lois statistiques de mortalité aux divers âges, des lois statistiques sur le nombre des suicides, etc. ; et ces lois sont approximativement justes puisque, comme le dit Poincaré, ces compagnies distribuent des dividendes. Il n'y aurait que des fluctuations d'espèce très rare qui pourraient les ruiner.

En résumé, soit par le fait de l'extrême hétérogénéité de la matière vivante, favorable à l'apparition des fluctuations, soit par suite de la possibilité, démontrée par l'expérience, de certains points singuliers où les fluctuations sont susceptibles de prendre une importance exceptionnelle, il n'est nullement absurde de supposer que l'évolution physico-chimique vitale échappe, en partie du moins, au principe de Carnot et à ses conséquences. Mais lorsque nous déclarons que le caprice des fluctuations pourrait jouer quelque rôle dans l'évolution cellulaire, cela ne veut nullement dire que cette évolution ne soit soumise à aucune loi. Cela signifie seulement que *les lois de cette évolution ne sont plus nécessairement des lois statistiques précises* comme le sont celles de notre physico-chimie².

¹ On a en effet surface $\pi r^2 = At$ d'où r proportionnel à la racine carrée de F .

² L'importance que doivent prendre les fluctuations au sein d'un milieu dont la différenciation est très poussée permettrait à la rigueur de considérer l'apparition de la vie ou même celle des mutations héréditaires comme

De plus la question du déterminisme ou du non déterminisme de cette évolution vitale n'est, cela va sans dire, nullement tranchée par l'importance que peuvent prendre les fluctuations dans les organismes vivants ; elle n'est que repoussée dans le domaine expérimentalement encore bien peu connu des actions individuelles entre molécules atomes ou électrons.

§ 3. — *La signification des lois physico-chimiques.*

Ce que nous venons de dire des lois statistiques et de la possibilité des fluctuations, particulièrement dans les milieux dont l'hétérogénéité est très poussée, va nous permettre de préciser par un exemple la signification que la nouvelle conception du principe de Carnot nous paraît donner à nos lois physico-chimiques.

Plaçons-nous d'abord à un point de vue purement déterministe, bien que cette question fondamentale soit plus réservée que jamais du fait même des conceptions nouvelles. Envisageons par exemple les 10 000 premiers logarithmes d'une table à dix décimales et faisons la statistique de la fréquence des divers chiffres qui figurent à la 7^{me} décimale. Nous trouvons que le chiffre *zéro* apparaît 990 fois, le chiffre *un* 997 fois ; le *deux* 993 fois, le *quatre* 1012 fois. La loi d'apparition de l'un quelconque des chiffres unités est, comme on voit, relativement très simple. La fréquence relative de chacun de ces chiffres est très voisine de $\frac{1}{10}$. De même la fréquence relative d'apparition des chiffres pairs est voisine de $\frac{1}{2}$ ¹.

le résultat de fluctuations très rares se produisant dans des matières albuminoïdes dont la complexité est énorme et qui présentent de ce fait un nombre prodigieux de possibilités différentes d'action entre elles et sur le milieu extérieur.

L'impossibilité où nous sommes d'agir sur les fluctuations « individuelles » expliquerait alors suffisamment notre impuissance à faire sortir la vie de la matière inorganique ou à produire des mutations héréditaires. D'autre part la rareté même de la fluctuation vitale justifierait l'impossibilité pratique où nous sommes d'être les témoins de la génération spontanée quelque soit l'assiduité de nos observations.

Mais, à supposer même que l'on parvienne par des considérations de ce genre à expliquer la genèse de la vie ; ce ne serait encore qu'une bien faible partie du voile que l'on aurait soulevée ; car après l'apparition de la vie il resterait à expliquer pourquoi cette évolution se continue et bien d'autres mystères dont l'énumération seule nous entraînerait très loin.

¹ Nous disons voisine de $\frac{1}{2}$. Dans une remarquable étude, M. le prof.

Nous avons là des lois statistiques très simples que l'on pourrait comparer aux lois physico-chimiques très précises que nous observons dans le monde inorganique.

Prenons maintenant les mêmes logarithmes par tranches successives de *mille* seulement et faisons la même statistique. La précision de la loi statistique se trouble ; les fluctuations apparaissent comme elles apparaîtront vraisemblablement lorsque la complexité des milieux et leur hétérogénéité devient très grande, ce qui semble être le cas de la matière vivante.

Envisageons enfin la statistique pour des tranches de *cent* chiffres seulement. Les lois d'apparition des diverses unités sont alors entièrement bouleversées et beaucoup moins simples que celles qui résultent de notre première statistique.

Voici, à titre d'exemple, les fréquences d'apparition pour la série comprenant les cent premiers logarithmes : *zéro*, 20 ; *un* 2 ; *deux*, 14 ; *trois*, 6 ; *quatre*, 3 ; *cinq*, 8 ; *six*, 11 ; *sept*, 6 ; *huit*, 12 ; *neuf*, 18.

Nous voyons donc en définitive que derrière les lois statistiques précises, derrière l'incohérence de leurs fluctuations, il y a les lois individuelles. Dans l'exemple que nous avons choisi, il y a la relation parfaitement déterminée qui relie la 7^{me} décimale du logarithme d'un nombre à ce nombre lui-même.

§ 4. — *Peut-on espérer passer des lois statistiques de la physico-chimie aux lois d'actions individuelles entre molécules ?*

M. P. Langevin s'est posé cette question et l'a traitée en physicien¹, comme il devait le faire. Il s'est d'ailleurs appuyé pour cela sur ses propres travaux qui ont jeté, comme on sait, un jour

Franel, de Zurich, a démontré en effet que la limite vers laquelle tend le rapport des chiffres pairs de la *i*^{me} décimale est $\frac{1}{10^{10^i} + 1} < \frac{1}{2}$ lorsque le

nombre des logarithmes envisagés croît indéfiniment suivant les puissances de dix. La loi statistique n'est donc pas aussi simple qu'elle le paraît à première vue. (*Naturforschende Gesellschaft*, Zurich 1917).

Il est plus que probable que la simplicité apparente de nos lois physico-chimiques, résulte en grande partie de l'imperfection de nos moyens d'observation, et que cette simplicité doit être soumise à des réserves du même genre.

¹ La physique du discontinu. Conférence faite à la Société Française de Physique. Les progrès de la Physique moléculaire. Gauthier-Villars.

nouveau et particulièrement lumineux sur la question du paramagnétisme des gaz.

M. Langevin considère un système à énergie constante et introduit les suppositions suivantes : Le système comprend un très grand nombre de molécules ; toutes ces molécules ont une structure identique ; il s'établit un équilibre statistique d'une part entre l'action du champ extérieur qui tend à orienter toutes les molécules dans la même direction et celle de l'agitation thermique dont nous ignorons d'ailleurs les lois précises ; enfin, cette action de l'agitation thermique est suffisamment complexe pour tendre à produire toutes les orientations possibles.

En partant de ces hypothèses, M. Langevin arrive à calculer quel doit être le moment magnétique d'une molécule pour que la loi expérimentale du paramagnétisme des gaz soit satisfaite.

Il déduit ainsi de l'observation d'une loi statistique expérimentale une propriété individuelle de la molécule : son moment magnétique.

Comme tout physicien doit le faire, M. Langevin, en raisonnant ainsi, s'est donné pour tâche d'expliquer de la façon la plus simple et par les seules notions de nombre, d'espace, de temps et de matière, la loi expérimentale du paramagnétisme des gaz.

Mais le philosophe est tenu à moins de réserve.

Il n'est pas certain, dira-t-il, que les suppositions introduites soient les seules compatibles avec la loi expérimentale observée. On arriverait peut-être, mais de façon moins simple, au même résultat en supposant que les molécules ont les unes un moment magnétique plus grand, les autres plus petit que la moyenne, etc.

Il lui est même permis de se demander si des lois individuelles d'essence différente ne pourraient conduire à la même loi statistique physico-chimique.

Nous avons vu qu'en faisant la statistique des chiffres qui figurent à la 7^{me} décimale du logarithme d'un nombre, nous obtenions une loi statistique très simple et que cette loi avait pour origine la relation parfaitement déterminée qui relie la septième décimale du logarithme d'un nombre au nombre lui-même. Mais cette même loi statistique aurait pu être obtenue par des considérations de nature toute différente, par exemple

en supposant que les chiffres unités auraient été tirés au sort dans une urne qui les auraient contenus tous en nombre égal, etc.

Même, au degré de précision auquel nous apprécions le résultat, il est indifférent que le tirage au sort soit effectué par Pierre, Paul ou Jean. En un mot on peut être très large sur l'origine d'une loi statistique.

En résumé, on voit par les considérations qui précèdent que les lois individuelles peuvent être beaucoup moins simples que les manifestations statistiques auxquelles elles donnent lieu.

Dans l'hypothèse déterministe, ces lois correspondraient à des actions individuelles précises qui s'exerceraient entre molécules atomes ou électrons.

Mais il n'est nullement certain que ces lois individuelles qui, donnent lieu aux manifestations statistiques de notre physico-chimie, ne soient pas d'essence plus générale; elles pourraient contenir en elles autre chose que les seules notions de nombre, d'espace, de temps et de matière qui suffisent à nos explications physico-chimiques. Si l'on se place à ce dernier point de vue, on est alors moins surpris des différences essentielles qui existent d'une part entre les phénomènes de la vie et de la pensée et d'autre part les lois statistiques relativement simples de la physique et de la chimie.

§ 5. — *Conclusions de la seconde partie.*

En résumé, si nous nous plaçons au point de vue de la thermodynamique classique, c'est-à-dire, si nous considérons le principe de Carnot comme un principe absolu, nous ne trouvons aucune raison scientifique qui permette d'admettre que ce principe ne soit pas applicable à l'évolution physico-chimique des organismes vivants.

Mais le principe de Carnot, depuis les travaux de Gibbs et de Boltzmann a reçu une interprétation moins absolue; il est envisagé comme un principe statistique qui nous laisse ignorer les lois d'action individuelle entre atomes, molécules ou électrons.

En dehors de ces lois d'évolution physico-chimique qui découlent du principe de Carnot et qui ne sont que l'expression des

évolutions les plus probables, il y a place, dans certains cas particuliers, pour d'autres possibilités très rares : les fluctuations.

Ces fluctuations prennent en général une importance relative d'autant plus considérable que l'élément homogène considéré renferme un plus petit nombre de molécules. En outre, elles peuvent prendre une importance exceptionnelle à certains points singuliers de l'évolution physico-chimique d'un système.

Or la fine structure de la matière vivante, que l'on peut envisager comme formée de la juxtaposition d'éléments dont l'homogénéité n'a qu'une très petite étendue, semble particulièrement favorable à l'apparition des fluctuations. On est ainsi conduit à admettre que le caprice des fluctuations pourrait bien jouer quelque rôle dans l'évolution physico-chimique cellulaire et par cela même dans le développement des êtres vivants, considérés comme le résultat d'une prolifération cellulaire.

La physico-chimie des êtres vivants que l'on a coutume d'appeler physiologie, pourrait donc être envisagée à ce point de vue comme une *physico-chimie plus générale* que notre physico-chimie *in vitro* ; en ce sens que s'appliquant à des milieux d'une extrême différenciation, les fluctuations statistiques n'y seraient en général plus tout à fait négligeables ; la simplicité et la précision de nos lois physico-chimiques en seraient troublées.

Il est remarquable qu'Helmholtz, *alors qu'il n'était nullement question de fluctuations*, ait attribué à la *fine structure* des tissus vivants la possibilité d'une contradiction avec le principe de Carnot. Après quelques considérations sur le mouvement de la chaleur et après avoir rappelé que la grandeur de l'entropie était comme la mesure du désordre, il s'exprime de la sorte : « Pour nous, dont les moyens sont grossiers en regard de l'édifice moléculaire, seul le mouvement coordonné est librement transformable en d'autres formes de travail » ; et il ajoute en note : « qu'une telle transformation soit aussi impossible aux fines structures des tissus organiques vivants, cela me paraît une question qui reste ouverte et dont l'importance pour l'économie de la nature saute aux yeux. »

Il semble que les fluctuations apportent comme un commencement de réponse à la question posée par Helmholtz.

TROISIÈME PARTIE

LA PORTÉE PHILOSOPHIQUE DE LA CONCEPTION STATISTIQUE
DU PRINCIPE DE CARNOT

Pour clore cette étude, quelques mots sur la portée philosophique de la nouvelle conception du principe de Carnot, ne seront pas, pensons-nous, hors de propos.

§ 1. — *Déterminisme ou Indéterminisme ?*

Jusqu'ici la fatalité en quelque sorte inéluctable des lois expérimentales de la physique et de la chimie constituait l'argument fondamental, disons même l'origine et la raison d'être des philosophies déterministes.

Aujourd'hui, la nouvelle conception du principe de Carnot nous enseigne que cette fatalité n'est pas absolue, que le déterminisme des lois de la physique et de la chimie est un déterminisme statistique plus large. Sans trancher la question, elle transporte donc le champ de bataille des luttes philosophiques entre déterministes et non-déterministes dans un domaine qui échappe encore presque complètement à notre contrôle expérimental ; celui des actions individuelles entre molécules, atomes ou électrons. Elle nous montre en outre que cette merveilleuse précision des lois de la physique et de la chimie ne serait qu'une conséquence de ce que l'on appelle souvent la loi des grands nombres, appliquée à des actions individuelles qui peuvent être très complexes, mais dont les effets se compensent partiellement, de façon à donner à l'effet résultant, lorsqu'elles sont très nombreuses, une simplicité relative.

Mais que l'on envisage des milieux d'une structure suffisamment ténue, comme c'est apparemment le cas de la matière vivante, la loi des grands nombres ne pourra plus s'appliquer à chacune de leurs parties constituantes. Elle ne pourra plus exercer sur l'effet résultant cette action compensatrice, simplificatrice qui donne aux lois de notre physicochimie leur simplicité apparente.

La précision de ces lois devra donc commencer par se troubler et l'on verra apparaître les fluctuations. Enfin, pour un degré de ténuité suffisant, surgiront les vraies lois individuelles qui ne sont pas nécessairement plus simples, mais qui pourraient bien être même d'essence plus générale que les manifestations statistiques physicochimiques auxquelles elles donnent lieu.

La pseudo fatalité de l'évolution physicochimique sera donc susceptible, chez les êtres vivants, de se modifier parfois dans une direction qu'il nous est impossible pour l'instant de prévoir, dans l'ignorance où nous sommes de la nature intime de ces lois ou de ces causes individuelles cachées.

En résumé, derrière les manifestations statistiques précises, que sont les lois expérimentales de notre physicochimie, lois que nous avons déchiffrées les premières en vertu même de leur simplicité relative ; derrière le caprice de leurs fluctuations se cachent les lois individuelles ou les causes véritables dont ces manifestations dérivent et dont semblent découler aussi la vie et la pensée.

Si l'on se place à ce dernier point de vue, le principe de Carnot pourrait servir de base à une doctrine philosophique qui, sans préjuger en rien la question du déterminisme, se rangerait cependant parmi les philosophies *unicistes*. Nous essayerons tout à l'heure de l'esquisser mais auparavant il nous est indispensable de dire quelques mots de la question suivante.

§ 2. — *Hasard ou Finalisme ?*

On a voulu parfois attribuer au hasard la raison ultime de toute évolution, aussi bien de l'évolution du monde inorganique que de celle du monde organisé de la matière vivante. C'est au hasard des chocs moléculaires, a-t-on dit, que serait due l'apparition de la matière vivante ; c'est lui qui présiderait à sa naissance, à son évolution comme à sa destruction ; toujours et partout s'affirmerait ainsi « Sa Majesté le Hasard », comme l'appelait Frédéric II lorsqu'il parlait de son intervention dans le sort des batailles.

Mais le mot hasard est pris dans des acceptions si diverses que nous croyons bien faire de préciser ici par quelques exemples la signification qu'il convient de lui donner dans l'évolu-

tion physicochimique vitale. La conception moderne du principe de Carnot nous paraît apporter aussi à cette importante question un élément nouveau.

1° Lorsque nous avons devant nous une poudre grise, composée d'un mélange uniforme de grains colorés les uns en noir, les autres en blanc, il est possible, du moins théoriquement, de séparer, en les agitant, les grains des deux couleurs. Mais ce serait, dira-t-on familièrement, « le plus grand des hasards » si cette séparation se produisait ainsi par simple agitation ; ce serait un *hasard extraordinaire* si tous les grains blancs, après brassage, se trouvaient à la partie supérieure du récipient tandis que les grains noirs en occuperaient le fonds.

Dans le langage du calcul des probabilités, nous énoncerions le fait en disant que la séparation des grains blancs et noirs par brassage correspondrait à une *fluctuation d'espèce très rare*.

De même dans un mélange uniforme de deux gaz, ce serait un hasard extraordinaire, si à un moment donné et sous l'action seule de l'agitation thermique, toutes les molécules de l'un des gaz se trouvaient à droite dans le récipient, et toutes celles de l'autre gaz à gauche. En réalité, cette configuration ne serait peut-être ni plus ni moins probable que telle autre déterminée d'avance, mais elle *conférerait au système des propriétés différentes* de celles dont jouissent les configurations infiniment plus nombreuses, correspondant à ce que nous appelons un mélange à peu près uniforme. De même que la fluctuation qui amène tous les grains blancs à la partie supérieure et tous les noirs à la partie inférieure, produit sur notre œil une impression différente de celle des innombrables configurations qui correspondent au gris. Or ce sont ces propriétés différentes qui nous permettent de distinguer ces fluctuations ; ce sont elles qui nous autorisent à les considérer parfois comme le résultat de ce que nous avons appelé un hasard extraordinaire.

Considérons maintenant un mélange uniforme de gaz CO_2 , H_2O , Az_2 et de quelques autres éléments, constituants de la matière vivante. Supposons ce mélange préalablement stérilisé par une température élevée et soumis ensuite — par exemple à travers une fenêtre de quartz laissant passer les rayons ultraviolets, — à l'action de la lumière solaire et cela non pas pen-

dant un petit nombre de jours ou d'années mais pendant un nombre immense de siècles. Nous pourrions admettre alors que toutes les dissociations, combinaisons, associations d'atomes, de molécules et d'électrons qui sous l'action de la lumière et de l'agitation thermique sont susceptibles de se produire, en un mot qui sont *possibles*, finiront par se réaliser au cours des âges.

En un point du volume, il pourra donc se produire une association moléculaire correspondant à la constitution physicochimique de la matière vivante.

Dans cette hypothèse, l'apparition de la vie serait donc due à une *fluctuation d'espèce très rare* ; c'est à dire à ce que nous avons appelé familièrement un hasard extraordinaire.

Remarquons cependant que s'il nous est permis de faire cette supposition, c'est que nous ne savons pour ainsi dire rien de ce passage de la matière non vivante à la matière vivante. Tout ce que nous savons de plus certain, c'est que d'une part nous n'avons jamais pu le produire dans nos réactions *in vitro* et que d'autre part nous n'avons jamais été les témoins et les spectateurs d'une telle transformation ; deux conditions pratiquement compatibles avec l'hypothèse d'une fluctuation « très rare ».

Mais si à la rigueur et pour les raisons que nous venons de donner, nous pourrions assimiler l'apparition de la vie à une fluctuation très rare, il n'en est plus de même, si nous cherchons à expliquer l'évolution physicochimique au sein d'un organisme vivant.

En effet, lorsqu'on confie à un hasard extraordinaire le soin de construire un édifice déterminé d'avance, on doit donner à ce singulier constructeur, qui n'est en général jamais pressé, le temps d'effectuer d'innombrables configurations infructueuses en attendant que surgisse la configuration désirée.

Or, ce temps perdu, on ne l'aperçoit pas dans l'évolution physicochimique d'un organisme. Nous pouvons bien en effet concevoir que le hasard des chocs moléculaires ait pu construire *une fois* un instrument d'optique au sein d'un être vivant¹. Mais il devient plus difficile d'admettre que la construction réussisse du

¹ Comme exemple d'évolution physicochimique vitale, nous avons choisi la construction d'un œil au sein d'un organisme vivant parce que cet exemple est particulièrement de nature à frapper un physicien ; mais on trou-

premier coup, non seulement dans l'organisme considéré, mais encore dans tous les êtres vivants qui constituent sa descendance.

On ne peut donc attribuer la réussite de la construction à un enchaînement ininterrompu de hasards extraordinaires; ce serait en quelque sorte faire à chaque instant appel à la réalisation d'un miracle analogue à celui que M. Emile Borel, dans son livre sur le Hasard, désigne sous le nom de « miracle des singes dactylographes »¹. Nous devons donc immédiatement écarter une hypothèse aussi invraisemblable.

2° Mais si l'évolution vitale ne peut être considérée comme une série ininterrompue de hasards extraordinaires, on peut l'envisager cependant comme une conséquence de ce que l'on est convenu d'appeler *les lois du hasard*.

Afin de mieux préciser le sens que l'on doit attribuer à cette appellation, revenons au principe de Carnot, et contrairement à la conclusion de notre seconde partie, admettons pour un instant ce principe sans réserve, ce qui revient à négliger les fluctuations et cela aussi bien dans le monde organisé de la matière vivante que dans le monde inorganique. Il en résultera qu'à chaque instant de l'évolution vitale, cette évolution s'effectuera vers ce que l'on appelle les désordres les plus probables parmi tous les désordres possibles. (Voir seconde partie).

Mais alors il devient nécessaire d'admettre qu'à chaque instant de cette évolution correspondent de *nouvelles possibilités* qui sont en quelque sorte fonction de l'état actuel et qui détermineront l'évolution immédiate la plus probable, et ainsi de suite. Autrement, nous n'aurions, comme nous l'avons dit, d'autre ressource pour expliquer cette évolution que de faire sans cesse appel à la réalisation d'un miracle analogue à celui des singes dactylographes.

Or ces nouvelles possibilités, fonction de l'état actuel, ne sont

verait dans la biologie nombre d'exemples où le finalisme apparent ou réel de l'évolution vitale est aussi manifeste.

¹ Supposons, dit M. Borel en substance, que l'on ait dressé un million de singes à frapper au hasard sur les touches d'un nombre égal de machines à écrire, combien faudrait-il de milliards de siècles pour qu'en réunissant périodiquement les textes, il se trouve que cette aveugle activité ait reproduit précisément tous les volumes qui se trouvent actuellement dans la bibliothèque du British-Muséum ?

en définitive qu'un finalisme déguisé. Comment se fait-il, en effet, dans l'exemple que nous avons choisi, que ces possibilités qui caractérisent chaque état actuel soient successivement toujours telles que l'évolution la plus probable s'effectue précisément dans le sens de la *continuation* de la construction de l'appareil d'optique? Le finalisme que l'on croyait sorti par la porte est en réalité rentré par la fenêtre. On l'a réintroduit gratuitement dans les conditions qui, à chaque instant, déterminent les nouvelles possibilités d'évolution.

3° Enfin, si l'on se place au point de vue que nous avons développé dans notre seconde partie; si le principe statistique de Carnot n'est pas absolu, en raison de l'extrême division de la matière vivante, nous nous retrouvons cependant exactement en face de la même question. Comment se fait-il que l'évolution physicochimique vitale vers les états les plus probables, profondément altérée cette fois par l'importance que prennent les fluctuations, comment se fait-il que cette évolution s'effectue toujours dans le sens de la *continuation* de la construction de l'appareil d'optique?

On voit donc en définitive qu'il ne suffit pas d'invoquer les lois du hasard pour bannir de l'évolution vitale tout finalisme. Il semble au contraire qu'on soit obligé de lui faire une certaine place, sous une forme ou sous une autre; qu'on l'appelle finalisme, tendance, élan vital, âme, principe organisateur, etc.

Or cet élément que nous appelons ici, de façon un peu vague, finalisme, les philosophies et les religions l'ont introduit de diverses façons.

Les unes; les *philosophies dualistes*, en font un élément en quelque sorte extérieur à ce que nous avons appelé la matière. Frappés de la difficulté de concilier les lois déterministes de l'évolution physicochimique ordinaire avec les manifestations de la vie et de la pensée consciente, leurs auteurs ont préféré scinder la résolution du problème en deux.

La conception statistique du principe de Carnot permet également une telle subdivision. On peut concevoir en effet les lois entre molécules, atomes et électrons comme parfaitement déterminées, mais faire intervenir dans les organismes vivants

une sorte de démon de Maxwell, capable d'en diriger le cours dans une certaine mesure. Nous avons fait allusion déjà à cette hypothèse dans notre seconde partie.

Les autres, les *philosophies monistes ou unicistes*, retiennent surtout le fait expérimental que la vie et la pensée sont toujours associées à ce qu'on est convenu d'appeler la matière; elles s'efforcent donc de ramener tout à une explication unique. Mais alors, ne pouvant nier le déterminisme des lois de la physique et de la chimie, elles l'étendent volontiers à l'ensemble de tous les phénomènes qui accompagnent la vie.

La nouvelle conception du principe de Carnot permet, elle aussi, une conception uniciste; mais cette conception est plus large. Elle n'est plus nécessairement déterministe, puisqu'elle peut localiser le principe de la vie et de la pensée consciente dans les actions individuelles, entre molécules, atomes ou électrons; le déterminisme de la physique et de la chimie n'étant qu'un déterminisme statistique, dont la précision ne serait due qu'à la loi des grands nombres.

Nous allons en terminant nous placer à ce dernier point de vue qui nous paraît nécessiter un complément d'explication.

§ 3. — *Esquisse d'une philosophie uniciste basée sur le principe de Carnot.*

Ce que nous appelons les éléments constitutifs de la matière (molécules, atomes, électrons) ne sont, en vertu du principe de relativité, que des *énergies* dont nous ignorons d'ailleurs la nature intime. Ces énergies élémentaires sont d'espèces différentes, au nombre d'environ 80; les atomes des corps simples. Mais les récentes découvertes de la radioactivité, celle des isotopes, et les recherches modernes sur les rayons X tendent à réduire ces énergies élémentaires à une dualité ultime: l'*électron négatif* et l'*électron positif*.

Par leurs groupements ces énergies donnent naissance non seulement à ce que nous appelons des phénomènes physico-chimiques, mais aux manifestations de la vie et de la pensée qui les accompagnent parfois. Il paraît donc naturel d'admettre que ces énergies élémentaires ne peuvent être entièrement définies par les seules notions de nombre, d'espace, de temps et de

matière qui suffisent à nos explications physicochimiques; elles doivent contenir en elles, au moins en puissance, *quelque chose d'autre*.

Ces énergies élémentaires s'attirent ou se repoussent dirons-nous, ou, si l'on préfère employer un langage plus finaliste, se cherchent ou se fuient de façon à construire des structures présentant certains caractères de dissymétrie qui leur permettront d'agir sur le chaos des énergies non organisées et de réaliser ainsi les possibilités contenues en elles. Comme le faisait remarquer Curie, un phénomène ne peut se produire ou même se propager que s'il existe une dissymétrie. Nous supposons donc que la première tendance de ces énergies est de créer ces structures dissymétriques qui leur conféreront la puissance d'action sur le milieu qui les entoure.

Or, parmi les énergies élémentaires les mieux appropriées pour la formation de ces puissantes structures dissymétriques se placent en première ligne ce que nous appelons les atomes de carbone (*tétravalents*) et d'azote (*trivalents*) associés aux atomes d'hydrogène et d'oxygène, tous éléments extrêmement nombreux à la surface de notre globe. Ces associations forment ainsi la base principale des matières albuminoïdes, remarquables, comme on sait, par leur extrême complexité. Elles peuvent donc produire, grâce à cette complexité même, une variété presque infinie¹ de phénomènes et réaliser ainsi les possibilités contenues en elles.

Essayons maintenant de définir, en nous appuyant sur le principe de Carnot, ce qui schématiquement pourrait distinguer le phénomène physicochimique du phénomène vital, bien que dans une théorie uniciste ces deux phénomènes soient toujours plus ou moins associés l'un à l'autre.

¹ On peut par les lois des permutations se faire une idée approximative de la façon prodigieuse avec laquelle croissent les possibilités d'isomères lorsqu'on multiplie les atomes dans une molécule. Si une molécule d'albumine renfermait, par exemple, mille atomes et si ces atomes pouvaient se grouper au cours des âges de toutes les manières possibles; ce qui n'est d'ailleurs pas certain, ils donneraient lieu à $1 \times 2 \times 3 \dots 1000 = 1000!$ permutations. Il est inutile de chercher à se représenter un pareil nombre. Il suffira de rappeler qu'une maîtresse de maison peut grouper 20 convives au-

Envisageons un milieu d'une certaine étendue que nous supposerons homogène et isotrope. Par exemple un sphérule d'huile en suspension dans un mélange d'eau et d'alcool de même densité. Nous supposerons que *ce sphérule est soustrait à toute action extérieure dissymétrique susceptible d'altérer de façon appréciable son homogénéité ou son isotropie.*

Dans ces conditions, pour tout point intérieur qui n'est pas très rapproché de la surface, *par raison de symétrie, la résultante statistique des actions intérieures sera négligeable*; ces actions ne pourront ainsi donner lieu qu'à une pression interne symétrique; celle que l'on rencontre précisément dans les fluides homogènes.

Par contre, à la surface de séparation du sphérule, la dissymétrie donnera naissance à des forces. Si l'élément de surface considéré renferme encore un très grand nombre de molécules, ces forces pourront être considérées comme des *actions statistiques de surface*. On les appelle alors tensions superficielles, forces électromotrices de contact résultant de couches doubles, etc.

Ce sont en définitive ces forces statistiques qui prennent naissance par suite de la dissymétrie, à la limite de séparation de deux milieux différents, que l'on doit considérer comme les véritables causes de la production des phénomènes physicochimiques tels que nous les étudions dans le monde inorganique; ce sont elles qui, en dernière analyse, jointes à la mystérieuse pesanteur (champ de gravitation) sont l'origine de l'évolution physicochimique selon le principe de Carnot.

Reprenons en effet l'exemple précédent, et supposons que le sphérule d'huile, au lieu d'être en équilibre à l'intérieur d'une masse liquide qui agit symétriquement sur lui de toutes parts, soit placé à la surface de l'eau. La résultante des actions statistiques intérieures demeurera pratiquement nulle pour tout point

tour d'une table de plus de deux milliards de milliards de façons différentes. Que serait-ce si elle devait en placer un millier? Mais ces innombrables isomères ne correspondraient pas tous, il est vrai à des variétés d'albumine. La stéréochimie montrerait sans doute que beaucoup seraient stéréochimiquement équivalents. Il reste néanmoins malgré ces restrictions une très large marge de possibilités.

intérieur, mais les actions statistiques de surface agiront par suite de la dissymétrie créée. L'huile, sous l'action des tensions superficielles, s'étalera à la surface de l'eau en libérant de l'énergie; bref tout se passera selon les lois habituelles de notre physicochimie et conformément au principe de Carnot, tant que la couche d'huile étalée comprendra par unité de surface un nombre suffisant de molécules pour que la notion *statistique* de tension superficielle subsiste.

Et il en sera ainsi même pour des sphérules de très petit volume, puisque nous savons qu'un micron cube renferme encore approximativement trente milliards de molécules. La matière pourra donc être très divisée et obéir néanmoins encore au principe de Carnot.

Mais supposons cette division poussée à *l'extrême*; admettons que la masse du sphérule, comme celle d'une micelle, ne contienne plus qu'un nombre relativement petit de molécules; les fluctuations apparaîtront et cela aussi bien pour les actions intérieures que pour les actions de surface. *La résultante statistique des actions intérieures ne sera plus nécessairement nulle et la précision des actions de surface sera elle aussi altérée par les fluctuations.*

Enfin, pour une ténuité suffisante, la nature intime des lois individuelles finira par se manifester; c'est alors que dans notre hypothèse la vie avec ses phénomènes de sensibilité et de pensée consciente pourra faire son apparition de façon appréciable¹.

En résumé, tant que les énergies élémentaires constituent des mélanges fluides uniformes de volume suffisant, leurs puissances

¹ Il importe de remarquer à ce propos que la vie pour se manifester de façon sensible demande la coopération *d'un très grand nombre de molécules libres*; en d'autres mots la matière vivante, le protoplasma, comprend toujours des liquides en abondance. Aussi, n'est-ce pas des cailloux de l'écorce terrestre que la vie semble tirer son origine; la paléontologie nous enseigne au contraire que ce serait au sein des océans, ces réservoirs inépuisables de molécules libres, que les premiers organismes vivants auraient pris naissance et que ce ne serait que plus tard qu'ils auraient émigré sur les îles et les continents. Il est vrai que certains organismes peuvent supporter impunément un long dessèchement, mais l'activité de leur vie est alors comme suspendue; placés à nouveau dans un milieu humide, ils pourront reprendre vie si les structures dissymétriques qui caractérisent

individuelles d'action se compensent et se neutralisent pratiquement; la vie existe mais à l'état latent, sans possibilité de se manifester; c'est la pression interne statistique au sein des fluides homogènes et ce n'est que par une différenciation et une organisation suffisamment poussée que ces énergies élémentaires réussissent à prendre toute leur puissance d'action sur le chaos des énergies non organisées qui les entourent.

Mais au fur et à mesure que cette complication, cette dissymétrie, augmente, la puissance d'action de la matière vivante devient plus grande. Il lui devient alors plus facile de réaliser les possibilités contenues en elle. Son finalisme s'affirme toujours davantage; il devient plus manifeste, et l'on voit apparaître plus nettement ces curieux phénomènes d'adaptation et de sensibilité qui semblent déceler comme une intelligence cachée.

Qu'on nous permette de pousser plus avant encore cette esquisse sommaire, en nous écartant il est vrai toujours plus des lois statistiques de la physique et de la chimie, notre point de départ. Ce que notre esquisse gagnera en étendue elle va le perdre en certitude; c'est la loi fatale de toute extrapolation philosophique.

Cette dissymétrie qui fait sa force, la matière vivante la sent très fragile. Sans cesse elle se trouve menacée et exposée à être détruite par le hasard des actions extérieures et tout particulièrement par ce terrible *brassage* qu'est l'agitation thermique, grand ennemi de toute dissymétrie. Aussi le premier soin de la matière vivante est-il d'assurer la continuité de son action

la vie n'ont pas été peu à peu anéanties. De même lorsqu'on refroidit certains organismes vivants (bactéries par exemples), si ce refroidissement n'a pas produit des dislocations et des altérations de nature à compromettre leur fonctionnement, ils reprendront vie lorsqu'on les portera à une température plus élevée. Tel est en particulier le cas de certaines bactéries phosphorescentes qui, dit-on, peuvent impunément supporter un séjour d'une semaine à la température de l'hydrogène liquide (-253°).

Par contre toute matière vivante est irrémédiablement anéantie par le brassage énergétique dû à l'agitation thermique qui correspond à une température comprise entre 100 et 200 degrés. Un temps relativement court de ce régime suffit à anéantir les dissymétries qui donnent à la matière vivante sa puissante possibilité d'action sur le milieu ambiant.

afin de conserver la possibilité de se réaliser plus complètement. C'est dans ce but qu'elle crée, le plus souvent, à l'abri des conditions extérieures, dans l'embryon ou dans l'œuf, une structure dissymétrique très poussée, semblable à elle-même, mais qu'elle ne mettra en contact avec le milieu extérieur qu'après que sa différenciation sera suffisamment développée pour lui permettre de lutter efficacement contre les agents extérieurs qui tendraient à la détruire. A son début dans la lutte, l'instinct maternel continuera même parfois de la protéger. En même temps la joie et la souffrance physique ou morale lui serviront de guide au cours de son évolution.

Mais ces diverses énergies qui cherchent à se réaliser dans les organismes vivants ne tarderont pas à entrer en conflit les unes avec les autres ; c'est alors que se poseront pour ces organismes, d'abord sous une forme plus ou moins rudimentaire, les problèmes moraux du bien et du mal, de l'égoïsme, de l'altruisme, de la solidarité, etc.

D'autre part, le spectacle sans cesse renouvelé des souffrances physiques et morales qui résultent de ces conflits et de la lutte contre le chaos des énergies non organisées demeure particulièrement troublant. Pour les expliquer, les doctrines philosophiques et religieuses font alors leur apparition, en même temps qu'elles s'efforcent de guider l'idéal humain selon des tendances d'ailleurs très diverses.

Parmi ces tendances, nous en envisagerons ici deux seulement parce qu'elles sont en quelque sorte à l'opposé l'une de l'autre.

Pour les philosophes de l'Inde, frappés de l'éternel retour des choses, l'apparition de la vie doit être considérée comme un accident malheureux, sources d'innombrables souffrances. Il faut donc souhaiter qu'un jour le chaos des phénomènes statistiques finira par l'absorber à nouveau ; la vie et la conscience s'anéantiront alors dans le *nirwana*. Une telle philosophie peut être considérée comme l'expression du pessimisme et du découragement inhérent à une civilisation plus ou moins cristallisée et dont l'évolution se trouve actuellement paralysée.

Mais une civilisation en voie d'évolution et de progrès aurait le droit de se placer à un point de vue diamétralement opposé et de supposer que la vie dans son évolution réussira peut être à réa-

liser des organisations toujours supérieures ; que ces organismes puissants finiront par dominer tout à fait le chaos des phénomènes physico-chimiques ; qu'ils réussiront peut-être à vaincre même la mort laquelle n'est en définitive, du point de vue où nous nous sommes placés, que le triomphe du chaos des énergies non organisées sur les énergies organisées, et qu'enfin guidés par une morale supérieure, ces organismes finiront par atteindre au bonheur, but ultime vers lequel semblent dirigés les efforts plus ou moins conscients ou inconscients des individus ou des sociétés.

Mais nous voilà bien éloignés de notre point de départ, lequel en définitive peut se résumer de la façon suivante :

C'est aux actions statistiques qu'est due l'évolution physico-chimique régie par le principe de Carnot, mais c'est dans les actions individuelles que l'on peut chercher la cause et l'origine de l'organisation de la vie et de la pensée.

Tel est le point de vue que nous nous sommes efforcés de faire ressortir au mieux des idées actuelles, sans cependant nous dissimuler les difficultés, les objections qu'il pourrait soulever dans ses développements, comme d'ailleurs toute doctrine philosophique. Si nous avons néanmoins tenu à l'esquisser, c'est pour montrer par un exemple la *puissante fécondité philosophique* de la nouvelle conception statistique du principe de Carnot.

Le lecteur voudra bien nous pardonner de l'avoir entraîné parfois, peut-être malgré lui, en plein rêve métaphysique.
