

MÉCANISMES BIOLOGIQUES

DE L'ATOME A L'ÊTRE VIVANT

PAR

C. LAVILLE

DEUXIÈME ÉDITION
REVUE ET AUGMENTÉE

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VD)
1950

MÉCANISMES BIOLOGIQUES

DE L'ATOME A L'ÊTRE VIVANT

PAR

C. LAVILLE

DEUXIÈME ÉDITION
REVUE ET AUGMENTÉE

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

L'homme, son origine, ses moyens, ses fins, Éditions
Émile-Paul.

Nos défenses naturelles contre les cancers, Éditions
Émile-Paul.

Électrodynamique du muscle, Éditions Dunod.

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1950

PRÉFACE

Le but de l'ouvrage que nous présentons ici n'est point de constituer un traité de Biologie, mais de rassembler en une synthèse génératrice de développements ultérieurs l'exposé des mécanismes essentiels présidant aux travaux accomplis par la Nature. Il n'est guère besoin de s'attarder longtemps dans l'observation des phénomènes par lesquels se manifeste l'activité de ce que nous appelons « la vie », si malaisée à correctement définir, pour y déceler la domination constante d'une loi inflexible d'économie dans l'effort, ou de mise en œuvre des moindres moyens dans l'obtention d'un résultat déterminé. La Nature se comporte, en toutes circonstances, comme une industrie remarquablement conçue et organisée, ayant porté au maximum ses possibilités de production. Il est donc loin d'être sans intérêt, pour des techniciens, de prendre connaissance exacte de tels procédés qui, dans leur essence et dans leur jeu, peuvent les conduire vers d'opportunes méditations, précédant d'utiles et profitables réalisations.

Depuis assez longtemps déjà, et dès que, sur la fin de notre carrière, nous nous sommes tourné vers les sciences biologiques et médicales, nous sommes parvenu à cette conviction que, s'il y avait un incontestable profit, pour le biologiste, à s'assimiler de larges notions de mécanique ou d'électricité, le bénéfice n'était pas moindre, pour l'ingénieur, de scruter les mouvements et les mutations de formes par quoi se caractérisent les processus naturels. Le technicien y peut, en effet, prendre contact avec des dispositifs auxquels sa formation scolaire ne l'a pas engagé à prêter une attention suffisante : discontinuité d'action, chocs successifs périodiquement interrompus par des temps de latence, énergies rythmées, mobilisation de tous les efforts à

allure quantique auxquels recourent les êtres vivants pour se maintenir dans leur ligne, qui est de durer, en ménageant dans la plus large mesure leurs réserves de puissance et en poussant au plus haut degré le rendement qui leur est permis par les matériaux spéciaux dont ils sont constitués et qui, dans leur structure, se séparent si nettement d'avec ceux dont nos industries humaines font couramment usage. Nous avons été instruits, nous avons tous été formés dans l'étude d'une mécanique du continu, valable dans son application à des matériaux à modules bien définis, à coefficients de résistance améliorés de jour en jour. Et voici que s'ouvrent à nous de nouveaux horizons : la technique entrevoit tout le parti qu'on peut tirer d'énergies se manifestant de façon intermittente sur des matériaux plastiques ou semi-rigides. Et nous constatons que, contrairement à toute attente, ces systèmes peuvent posséder des qualités de rendement ou de durabilité susceptibles de les faire préférer, en de nombreux cas, aux dispositifs anciens.

Confrontant les recherches entreprises, chacun de son côté, soit par l'ingénieur, soit par le biologiste, il nous est fréquemment arrivé de constater que l'ingénieur faisait, sans le savoir, de la biologie, alors que le biologiste tentait de faire œuvre d'ingénieur en explicitant un processus naturel... Ainsi nous est venue la conviction qu'il faut abattre la cloison qui sépare deux catégories de sciences et les a empêchées, jusqu'à présent, de s'interpénétrer; l'appui mutuel qu'elles pourront se prêter les aidera, les unes et les autres, à progresser avec une rapidité accrue, pour le plus grand bénéfice du progrès humain.

Il est de toute évidence que le biologiste, quand il procède à l'analyse d'un phénomène vital, a tout intérêt à connaître les dispositifs homologues qui peuvent avoir été industriellement réalisés ou conçus : ses investigations en seront raccourcies d'autant. Mais l'intérêt n'est pas moindre, pour l'ingénieur, à interroger, par lui-même, la Nature ou à pénétrer les travaux du biologiste. C'est presque un axiome de dire que, *stricto sensu*, l'homme n'invente rien. Une recherche un peu poussée fait presque toujours apparaître l'existence d'antériorités naturelles à tous ces dispositifs dont est fait le matériel moderne de construction ou de destruction. Ces réminiscences qui s'ignorent, ces trouvailles

dirigées par un véritable sens inné de la découverte, il faut s'essayer à les provoquer d'une façon systématique par une exploration raisonnée des réalisations du vivant.

Nous avons donc tenté de faire œuvre utile en préparant le rapprochement nécessaire entre deux classes de travailleurs qui s'ignorent à peu près complètement, et entre deux disciplines scientifiques qui restent encore fort éloignées l'une de l'autre. Certes, la jonction trouvera devant elle de sérieux obstacles avant de s'opérer; peut-être ne sera-t-elle jamais terminée. Mais il ne nous semble pas nécessaire, pour agir, que soit franchi l'abîme séparant le vivant de l'inerte; les chercheurs peuvent s'apercevoir d'un bord à l'autre; ce n'est pas l'obstacle matériel d'un hiatus qui peut, et qui doit, les empêcher de communiquer entre eux.

Le but de cet ouvrage est donc d'aider les techniciens à augmenter leur fonds d'idées générales, d'éveiller leur curiosité, de les conduire vers des régions souvent ignorées d'eux, faute de temps, et, en leur donnant le goût de s'intéresser aux sciences biologiques, de leur faciliter l'accès vers des découvertes ou des perfectionnements nouveaux, d'améliorer, en un mot, leur valeur professionnelle.

Faire tenir dans le cadre restreint que les circonstances imposent actuellement à l'éditeur d'un ouvrage une matière aussi vaste que celle annoncée par le titre de celui-ci, ce peut être, pour son auteur, matière à grand embarras : la compréhension des exposés peut exiger des développements incompatibles avec les limites dans lesquelles doit s'inclure le volume. Certes, il peut être excellent d'éviter les paroles inutiles, de se limiter à l'essentiel du sujet et de laisser au lecteur le soin de réfléchir par lui-même aux prolongements que comporte la pensée de l'auteur. Mais dès l'instant que la concision empêche d'exprimer ce qui doit être exprimé, on ne tarde pas à se jeter sur un écueil qui s'appelle : obscurité ou incompréhension. Le lecteur se rebute et abandonne l'ouvrage; si bien qu'en voulant faire peu, l'auteur en a fait trop, aboutissant à ce résultat de n'être point lu.

Nous avons pensé résoudre au mieux la question en sacrifiant un certain nombre de chapitres et en laissant leur entier développement à ceux qui sont conservés. Ainsi, rien n'est enlevé

aux sujets qui ont été traités et auxquels a été maintenue la place nécessitée par leur exposition. En revanche, nous avons dû faire un choix parmi tous les sujets qu'il était possible de traiter; nous nous sommes efforcé de le faire sans altérer la figure de l'ensemble et sans diminuer le caractère de généralité que nous avons l'intention de donner à notre exposé. Nous espérons n'avoir pas failli à cette tâche.

AVERTISSEMENT DE LA DEUXIÈME ÉDITION

L'empressement avec lequel le public studieux a accueilli cet ouvrage a amené celui-ci, beaucoup plus vite que son auteur n'aurait osé l'espérer, au seuil de sa seconde édition. L'auteur a pensé que la meilleure manière de remercier les lecteurs ayant bien voulu le suivre dans les voies, presque vierges, où il les a conduits, était tout à la fois de rectifier les imperfections et de combler les lacunes qui se marquaient dans la première édition.

La librairie Dunod, à qui me lie une affectueuse collaboration datant d'au-delà quarante années, a bien voulu, en dépit des difficultés nées de la guerre et non encore complètement aplanies, m'accorder une centaine de pages supplémentaires pour m'expliquer. Les lecteurs, tout autant que l'auteur, lui sauront gré de cet effort qui leur permettra de faire connaissance avec nombre de faits biologiques qui avaient dû être laissés de côté dans la première édition. Certes, il s'en faut encore de beaucoup pour que l'ouvrage puisse prétendre à être complet. Cependant, mieux équilibré que son prédécesseur, nous le pensons aussi plus riche en données nouvelles et susceptibles d'être directement utiles à ceux ayant le désir de s'adonner à la recherche désintéressée, dans l'ordre de la Biologie.

Paris, Mai 1949.

PREMIÈRE PARTIE

AINSI VA LE MONDE...

CHAPITRE PREMIER

BIOLOGIE ET MATHÉMATIQUES

La Mathématique, moyen de recherche et d'expression. — En vue d'alléger notre exposé et d'éviter de nombreuses répétitions, il est préférable, pensons-nous, de traiter notre sujet d'un point de vue général avant de passer aux applications.

La pratique d'une science nous en donne toujours des aperçus ne figurant dans aucun enseignement scolastique. Lorsque le jeune ingénieur, assis à sa table de travail, peine à élaborer ses premiers projets de construction en utilisant ses connaissances classiques, il fait irrésistiblement songer à l'homme qui traverse une rivière sur les planches disjointes d'un ponceau vermoulu : la peur de tomber à l'eau ne lui laisse voir que les trous du tablier... Un enseignement, en effet, ne saurait tout dire et tout prévoir : c'est un réseau et, comme tel, il ne peut intégrer la surface qu'il couvre. Les cas réels ne sont jamais tout à fait conformes aux cas théoriques, mais il dépend de notre talent ou de notre expérience que ceux-là se laissent encadrer ou délimiter par ceux-ci.

Les lois que nous avons à rechercher concernant les manifestations vitales ne peuvent surgir d'une stricte application des principes énoncés dans les traités usuels de mathématiques, de mécanique, de physique ou de chimie. S'il en était ainsi, la besogne serait déjà faite et l'occasion aurait été perdue pour nous de produire cet ouvrage. La clarté de notre exposé exige donc que nous passions rapidement en revue quelques-unes des don-

nées sur lesquelles nous avons à nous appuyer et qui ne sont pas énoncées d'une manière formelle dans les ouvrages classiques, encore qu'elles y soient implicitement contenues.

Pour le biologiste comme pour l'ingénieur, les mathématiques ne constituent pas une science, mais un outil, un instrument de travail, tantôt simplifiant et facilitant la recherche, tantôt fournissant un moyen d'expression générale aux résultats obtenus. Le champ immense couvert par l'ensemble de ces résultats requiert le concours des disciplines, si diverses, de la mathématique : tantôt les processus discontinus, dont l'importance est si grande chez le vivant, se traduiront en quantités discrètes, en nombre relevant des opérations arithmétiques, et tantôt les variations continues d'une fonction physiologique emprunteront leur représentation aux procédés de l'analyse. L'algèbre est une langue écrite susceptible d'exprimer, d'une manière à la fois rigoureuse et simple, les faits et les relations qu'ils peuvent avoir entre eux. L'emploi des coordonnées cartésiennes devra, dans les très nombreux cas où des mouvements rotationnels interviennent au cours des phénomènes, céder la place à celui des coordonnées polaires, susceptible de fournir des expressions analytiques plus simples et des tracés d'un graphisme plus « parlant ».

Le vivant se situe non seulement par le nombre et par la variation quantitative, mais aussi par rapport au milieu où il est appelé à évoluer. La notion d'espace fait son apparition, en mathématiques, avec la géométrie : force nous est donc d'incorporer celle-ci parmi les connaissances utiles à la recherche biologique. La trigonométrie sera indispensable pour aborder l'étude des processus à allure cyclique, dont la vie nous offre une magnifique floraison d'exemples.

Les probabilités, les lois statistiques seront également d'un précieux secours, à condition de ne pas tomber dans un certain travers où sous prétexte de mathématiser la biologie, on s'exerce sur des problèmes de signification purement démographique et fort éloignés, la plupart du temps, du comportement normal chez le vivant.

Restent, enfin, certains compartiments des mathématiques appliquées — comme la résistance des matériaux, la statique graphique ou la nomographie — pouvant intervenir, par exemple,

dans l'étude de la charpente osseuse ou dans la traduction d'une série de mesures effectuées sur les individus, qui terminent notre énumération et achèvent de montrer combien est vaste le programme des acquisitions nécessaires au travailleur organisé.

Les méthodes graphiques possèdent, pour la traduction des phénomènes, une simplicité et une expressivité inégalables. Il n'est donc pas étonnant qu'elles aient conquis une place prépondérante dans les comptes rendus d'expériences biologiques. Malheureusement, les auteurs se bornent à considérer le tracé d'une courbe comme une *fin*, alors que c'est seulement un *moyen*. Ils se privent ainsi de pénétrer plus avant dans l'intimité du mécanisme dont un graphique traduit le fonctionnement. Établir une équation et omettre de la discuter, c'est perdre tout le bénéfice de sa recherche.

Mathématique analogique. — En biologie, le recours à l'analogie comme procédé de démonstration est fort dangereux. « Souvent, le fil de l'analogie est si fin qu'il nous échappe », a dit Condillac. Les rapports de similitude ont, cependant, rendu de tels services dans les sciences physiques qu'il y aurait beaucoup de présomption à vouloir en ignorer l'emploi dans les sciences biologiques. Le tout est d'être circonspect et, pour cela, de s'abriter derrière la discipline mathématique.

Lorsque deux phénomènes semblent fort éloignés l'un de l'autre se traduisent par deux équations superposables, ce caractère de ressemblance constitue un fait sur lequel doit s'exercer notre esprit. Il est évident que si, d'une part, $y = f(x)$ et, d'autre part, $z = f(t)$ comportent des expressions identiques, nous avons le droit, même le devoir, de considérer que les rapports liant y aux variations de x sont les mêmes que ceux liant z aux variations de t . Il importe donc de rechercher la raison commune de cette analogie.

Pétrovitch a remarquablement mis en lumière cette possibilité où nous sommes, par la mise en évidence des éléments correspondants, d'établir une « mécanique générale » des phénomènes, susceptible de ramener à une unique base un grand nombre de théories semblant, pour le moment, dénuées de tout rapport mutuel. On peut ainsi ranger les phénomènes en classes,

celles-ci déterminées par la forme des équations représentatives de ces phénomènes. Par exemple, la classe des phénomènes exponentiels — que nous trouverons si riche dans le domaine biologique — et dont l'équation différentielle est de la forme :

$$\frac{dy}{dx} + ky = 0$$

(où x et y désignent les variables du phénomène et k une constante) range sous sa loi un nombre important de phénomènes physiques, fort divers les uns des autres :

- 1° Absorption d'une radiation lumineuse;
- 2° Variation de la pression barométrique avec l'altitude, en atmosphère à température uniforme;
- 3° Refroidissement d'un corps dans un milieu tranquille;
- 4° Déperdition, consécutive à l'évaporation, de l'électricité sur la surface de liquides électrisés;
- 5° Vitesse d'une réaction monomoléculaire, etc., etc.

Ces phénomènes constituent un groupe d'analogie parfaite, dont les grandeurs x , y , k sont les éléments correspondants.

Si l'on envisage l'ensemble des phénomènes d'un même groupe d'analogie, on peut prendre l'un quelconque d'entre eux comme *phénomène-type* et si les relations entre les variables de ce phénomène sont établies, le simple remplacement des éléments de cette relation par les éléments correspondants des autres phénomènes du groupe fournit automatiquement, par discussion complète des équations, les théories s'appliquant à ceux-ci. On fait ainsi rentrer dans des schémas mathématiques généraux les actions particulières de causes qui se trouvent, de la sorte, catégorisées.

P. Curie a, de son côté, montré le parti qu'on peut tirer des effets entraînés, dans le jeu des causes analogues, soit par la symétrie, soit par la dissymétrie de celles-ci. Les éléments de l'une ou de l'autre doivent respectivement se retrouver dans les effets produits. Ainsi est-il permis, tantôt en descendant des causes vers les effets, tantôt en remontant des effets aux causes, de prévoir la possibilité comme l'impossibilité des phénomènes.

Mutations géométriques. — Certaines constatations d'ordre anatomique ou morphologique, l'étude de la locomotion chez les animaux ou celle de la croissance des organes, de nombreux autres processus biologiques, mettent en évidence des figures géométriques dont la diversité paraît extrêmement grande. Mais cette diversité masque un fonds commun qu'il n'est pas inutile de connaître si l'on veut atteindre rapidement à des vues générales sur ces questions.

La plus importante de ces figures est l'hélice. *Helix matrix*, pourrait-on dire, car nous allons montrer que cette courbe est susceptible d'en engendrer quantité d'autres, auxquelles on ne songe généralement pas à l'apparenter, et possède ainsi un pouvoir, autant dire inégalé, de *mutabilité géométrique*.

On peut donner plusieurs définitions de l'hélice. Par exemple, celle-ci, qui figure dans tous les traités de géométrie : *l'hélice est la courbe décrite par un point qui se meut sur un cylindre de manière que sa hauteur au-dessus du plan de base soit proportionnelle à l'arc que décrit la projection de ce point mobile sur le plan de base*. Nous lui préférons cependant cette autre définition, parce que plus simple et plus expressive : *l'hélice est la courbe engendrée par le double mouvement d'un point qui se déplace à vitesse uniforme le long d'une génératrice d'un cylindre pendant que celui-ci tourne uniformément autour de son axe*. Mais nous nous élèverons vers un plus grand caractère de généralité encore, et nous nous préparerons à une plus rapide compréhension des propriétés mécaniques de la courbe si nous nous arrêtons à ceci : *l'hélice est la courbe engendrée par un point qui se déplace sur une surface en attaquant toutes ses génératrices, ou méridiens, sous un angle constant*. Cette constance de l'angle d'attaque est, en effet, la caractéristique la plus importante, dans ses conséquences, de la courbe que nous étudions en ce moment, et la définition que nous venons d'adopter vaut aussi bien pour les hélices coniques, sphériques, toriques, hyperboliques ou tracées sur une surface courbe quelconque que pour les hélices cylindriques, les seules auxquelles s'appliquent correctement les deux premières définitions.

Tracée sur un cylindre droit, l'hélice se projette orthogonalement sur la circonférence de son cercle de base sous la forme d'une *circonférence* qui se confond avec la première, et oblique-

ment sous forme d'une *ellipse* ou d'une *parabole*. Projetée sur un plan parallèle à l'axe du cylindre, elle apparaît sous forme d'une *sinusoïde*. Projetée sur des plans obliques par rapport à l'axe et convenablement choisis, elle donne tour à tour les diverses variétés de *trochoïdes* (à nœuds, à inflexions, à points de rebroussement) dont la *cycloïde*, ou *roulette*, est un cas particulier; elle donne aussi certaines variétés de l'*élastique*, ainsi que des courbes nodales. Lorsque le cylindre est développé sur un plan, l'hélice devient une simple ligne droite. Steels, d'autre part, a montré fort élégamment l'étroite parenté de l'ellipse et de la cycloïde.

Le cylindre est un cône dont le sommet est rejeté à l'infini et toutes les spires de l'hélice tracées sur sa surface sont égales et superposables. Il n'en est plus de même pour une hélice tracée sur un cône ordinaire : les spires y vont grandissant du sommet à la base. Leur projection sur cette base, supposée en section droite, représente une *spirale logarithmique* alors que la projection sur un plan passant par l'axe du cône donne une *sinusoïde amortie*, ou renforcée, selon le sens dans lequel on l'examine.

Sur la sphère, l'hélice devient la *loxodromie*, qui fait un angle constant avec tous les méridiens, et dont la projection sur le plan équatorial de la sphère varie de la spirale à la *lemniscate*, en passant par la « marguerite » des artilleurs, ou trajectoire apparente, pour un observateur placé au pôle, d'un projectile tiré de plein fouet et tournant en satellite autour de la terre.

Cette courte revue nous permet d'entrevoir comment, d'une manière simple, toutes ces figures se transforment les unes dans les autres : la forme apparente varie, en quelque sorte, en fonction du point de vue. Il y a, dans ces variations, une possibilité presque inépuisable de « mutabilité » morphologique et d'adaptabilité à des conditions fort diverses, et il n'est pas exagéré de dire que l'hélice possède une manière de vie géométrique. Des développements ultérieurs nous feront apparaître le rôle de première importance joué par la famille des courbes hélicoïdales dans l'économie du vivant.

CHAPITRE II

UNE COURBE UNIVERSELLE

Dans sa « Mécanique des Phénomènes fondée sur les analogies », un auteur que nous avons eu déjà l'occasion de citer, M. Petrovitch, a excellemment montré le parti qu'on pouvait tirer de l'étude mathématique de *phénomènes-types*, de la liaison possible à établir par le calcul entre les *causes* et les *effets*, de la distinction à établir entre les *causes actives*, dont l'existence est indépendante de celle du phénomène qu'ils déterminent, et les *causes passives* auxquelles donnent naissance les modifications mêmes qui constituent le phénomène considéré.

Un des exemples sur lesquels il s'arrête est celui des phénomènes oscillatoires, dont l'équation différentielle est de la forme :

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + n \frac{dy}{dt} + q = 0$$

où y et t désignent les variables du phénomène, et m , p , q des constantes. Il cite, parmi les phénomènes physiques régis par cette équation : 1° Le mouvement d'un pendule simple pesant dans un milieu résistant; 2° Les vibrations d'un pendule simple élastique; 3° La décharge d'un condensateur électrique; 4° Le mouvement d'un liquide dans deux vases réunis par un tube horizontal supposé très court. Dans tous ces phénomènes, t désigne le temps, p le coefficient de frottement, y est, soit une élongation, soit une charge électrique, soit une différence de niveau, m est tantôt une masse, tantôt un moment d'inertie, un coefficient de self-induction, une masse liquide, q un rapport de poids à longueur, de force élastique à déformation, un inverse de capacité électrique, un rapport de poids d'une colonne liquide à sa longueur. Dans les fonctions, l'analogie s'établit entre force d'inertie et force électromotrice d'induction, entre force de frot-

tement et force contre-électromotrice, entre composante horizontale d'un poids et force électromotrice Coulomb. Tous les phénomènes hydrodynamiques, électrodynamiques, caloriques, tous ceux qui sont dus à la pesanteur ou bien à une cause mécanique sont représentés par les mêmes courbes dès qu'ils sont assujettis aux mêmes équations. Le recours aux analogies est donc d'un puissant secours didactique, en même temps qu'il facilite la découverte de nouveaux phénomènes.

On peut pousser l'assimilation plus loin encore que ne l'a fait Petrovitch et parvenir à un haut degré de généralité, en classant les divers processus naturels ou provoqués, les faits d'observation comme les faits d'expérience, non pas d'après leur nature spécifique, mais d'après leur allure. Il devient ainsi loisible d'abattre les cloisons séparant l'astronomie, la mécanique moléculaire, les diverses branches de la physique et les sciences biologiques. Au lieu d'ordonner les connaissances suivant un développement en longueur qui demeure particulariste, on peut les étaler en largeur et les étudier dans une vue d'ensemble. En somme, au lieu de se laisser emporter sur les lignes de force, il s'agit dès lors de se déplacer seulement sur les lignes de niveau; théoriquement, l'effort est nul, pratiquement, il est fortement réduit et permet d'acquérir aux moindres frais des connaissances encyclopédiques.

La méthode revient, somme toute, à rechercher et à mettre en évidence les éléments de correspondance entre phénomènes divers, à en étudier le mécanisme général sur le terrain de l'abstraction, à retourner ensuite dans le domaine du concret et des applications particulières, auquel on parvient dès lors par le plus court et le plus économique chemin quant au travail de l'esprit.

Revenons à l'équation différentielle dont il vient d'être question. Son champ d'action ne se limite pas aux phénomènes physiques, il s'étend universellement à toutes les sciences, même celles d'ordre biologique, d'ordre économique et d'ordre politique, et ceci, par le truchement de la Statistique. Examinons cela de plus près.

On peut poser en principe que tous les processus d'ordre biologique sont des phénomènes statistiques. On y prend toujours, en effet, lorsqu'on les étudie, le temps comme variable indépendante,

la variable dépendante étant représentative d'une variation de nature physique, chimique ou mécanique : accroissement linéaire, superficiel ou volumique, élongation, température, pulsations, modification d'un pH humoral, d'une teneur en une substance donnée, d'une sécrétion, etc.

Les processus analysés diffèrent bien plus les uns des autres par les variations infinies et fort nuancées des divers paramètres de l'équation fondamentale que par la diversité des équations représentatives des phénomènes. Celles-ci peuvent se ramener à un nombre très restreint de types. L'étonnant est qu'on ne s'en soit guère avisé et qu'on continue à perdre un temps précieux à entreprendre des milliers d'expériences et à les traduire par des milliers de graphiques ayant entre eux une parenté étroite, une similitude d'aspect qui aurait dû frapper depuis longtemps les esprits observateurs.

Ce que nous venons de dire s'applique fort exactement au cas où, dans l'équation différentielle citée en tête de ce chapitre, on a :

$$p^2 - 4mq = 0$$

c'est-à-dire au cas du mouvement apériodique. Il est particulièrement intéressant par le nombre impressionnant de phénomènes dont il exprime la loi, et qu'on peut, dès lors, assimiler les uns aux autres. Ceci fait, comme nous l'allons voir, que l'intérêt se déplace : il quitte délibérément les rapports qui peuvent lier la variable dépendante à la variable indépendante, pour se porter sur l'étude des variations dont peuvent être affectés les paramètres et étend la discussion de l'équation jusqu'à faire apparaître la notion de *spécificité* des phénomènes. Sans être absolument nouvelle, cette sorte d'investigation nous conduit vers des résultats jusqu'alors insoupçonnés.

D'autre part, comme nous l'allons montrer par des exemples, la découverte peut tirer bénéfice des interprétations diverses qui peuvent surgir au sujet d'un même phénomène lorsque, appliquant la méthode des analogies, on le confronte avec les processus tributaires des mêmes équations et des mêmes représentations graphiques.

Forme exponentielle et forme statistique. — La courbe représentative de l'oscillation apériodique, avons-nous dit, est

également celle d'une infinité de processus dont les êtres vivants sont le siège. Elle est aussi bien celle de la « secousse musculaire » que celle de toutes les réponses organiques à une excitation ou une agression survenant de la part du milieu ambiant; qu'on trace le graphique des pressions sanguines, en fonction des temps, après injection intraveineuse d'adrénaline, qu'on inscrive les éliminations successives de glucose après une épreuve d'hyperglycémie provoquée, que nous dénombrions le nombre des pulsations cardiaques par minute après administration de nitrite d'amyle ou de nitro-glycérine, que nous recherchions le rythme d'élimination par le foie de la tétraïodphénothérapie lors d'une cholécystographie, que nous relevions les variations tensionnelles du liquide céphalo-rachidien lors d'une ponction lombaire, que

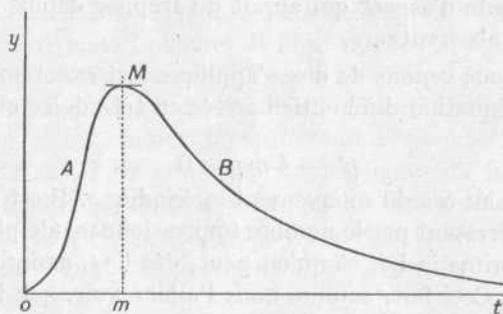


Fig. 1. — Une courbe universelle.

La portion A de la courbe est celle de croissance du phénomène, qui passe par un maximum M avant de décroître en B et de rejoindre asymptotiquement l'axe des x (axe des temps). Cette courbe ne retrace rien d'autre que les bilans successifs, la somme algébrique à tout instant des actions positives et des actions négatives, des actions accélératrices et des actions retardatrices, des poussées et des freinages, des créations et des destructions, etc. Elle est donc une courbe statistique, représentative, d'une infinité de phénomènes naturels : explosion suivie de détente, croissance suivie de sénescence, déformation élastique et retour à l'état antérieur, période de défense précédant un collapsus, et ainsi de suite. Le maximum marque un sommet, un apex, un paroxysme, un point de résonance, une harmonie ou un accord entre les puissances et les résistances, entre le milieu intérieur et le milieu extérieur, entre la croissance et la sénescence... Les interprétations peuvent varier à l'infini.

nous prenions un tracé de l'action anesthésiante d'une solution donnée sur la cornée de l'œil par la méthode des poils excitateurs, dans mille et mille autres cas encore, dont il ne servirait à rien

de donner tout le détail, nous retrouvons avec une régularité quasi mathématique la même courbe exponentielle. Elle possède donc plus qu'un caractère de grande généralité et fait figure de *prototype universel*.

Dans tous les phénomènes, soit d'ordre physique, soit d'ordre biologique, dont nous venons de parler, de quoi s'agit-il donc, si l'on veut réduire les choses à leur plus simple expression? D'une action dont le développement normal se trouve de plus en plus entravé au fur et à mesure que le temps s'écoule, soit parce que les résistances du milieu où se déroule le processus vont en s'accroissant, soit parce que cette action elle-même va faiblissant en valeur absolue. Que traduisent calculs et graphiques? La somme algébrique, à tout instant, des actions positives et des réactions négatives, des actions accélératrices et des réactions retardatrices ou freinatrices, des éléments favorables et des éléments défavorables au processus en cours, des effets dus aux causes agissantes et de ceux dus aux causes perturbatrices, des gains et des pertes. Le graphique n'est rien d'autre que la traduction d'un bilan ou d'une *statistique* se développant dans le temps. Il n'est donc pas étonnant que notre courbe exponentielle soit en même temps une courbe statistique.

Aspects divers. — On sait que la solution de l'équation différentielle dont nous venons de parler se présente d'une manière rentrant dans la forme générale exponentielle ci-dessous :

$$y = 1 - e^{-f(t)}.$$

Plutôt que de développer des considérations analogiques risquant, par leur longueur, d'être un peu fastidieuses, nous préférons renvoyer nos lecteurs au tableau ci-après (fig. 2), où nous avons groupé, autour de chaque particularité de la courbe, les expressions variées pouvant convenir à ces particularités, selon que la courbe est considérée comme représentative :

1° D'un phénomène explosif (explosion suivie de détente);

2° D'un processus combiné comportant à la fois *création et destruction* comme, par exemple, la vie du radium;

3° D'un phénomène électrique tel que la charge d'un condensateur shunté, c'est-à-dire comportant un diélectrique semi-conducteur;

4° D'un phénomène de résonance;

5° D'une « réaction de défense » vitale, à la suite d'une excitation quelconque imposée à un organisme.

Nous ferons simplement remarquer que la courbe peut présenter, ou non, un point d'inflexion dans la première partie de son ascension, selon que les réactions, les effets retardateurs ou inhibiteurs, ou perturbateurs, entrent, ou non, en jeu dès le moment initial du processus observé et mesuré.

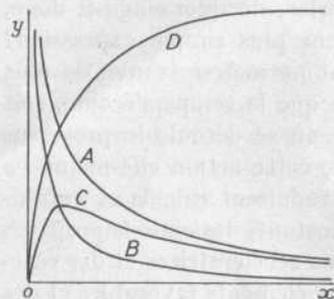


Fig. 2. — L'exponentielle considérée comme différence de deux hyperboles.

- 1^{er} Cas. A Combustion instantanée en vase clos.
B Cause perturbatrice amenant des pertes.
C Combustion réelle et à volume variable.
- 2^e Cas. A Courbe d'énergie du corps noir (calculée).
B Cause perturbatrice.
C Courbe d'énergie du corps noir (réelle).
- 3^e Cas. A Puissance totale d'un générateur électrique.
B Puissance perdue en chaleur dans les conducteurs.
C Puissance utile.
D Rendement (logarithmique).

(Le 2^e cas est celui qui a donné lieu à la théorie des quanta.)

la complexité du phénomène d'ensemble.

Certes, et nous tenons à prendre immédiatement position sur ce point, on pourra reprocher à la méthode que nous préconisons

Si nous abordons maintenant le point de vue interprétatif, en nous servant de cas particuliers susceptibles de nous fournir un vocabulaire nouveau ou de nous révéler un aspect, non encore aperçu mais déduit d'une analogie, du phénomène étudié, nous commencerons par cette remarque préliminaire que toute courbe peut toujours être considérée comme une somme, une différence, un produit ou un quotient de plusieurs autres courbes. Pour simplifier, nous nous contenterons d'examiner quelques cas relatifs à des sommes algébriques de deux courbes seulement. Notons bien qu'une telle décomposition revient tout simplement à une discrimination et à une mise en évidence des *éléments simples* dont l'*action simultanée* est représentée dans

de rassembler sous la même discipline un certain nombre de courbes ayant la même allure générale, mais non rigoureusement superposables. Il est donc évident, du point de vue mathématique pur, que l'assimilation complète, de l'une à l'autre, ne se peut point faire. Mais, comme nous l'avons antérieurement conseillé, tenant compte de ce que nous sommes ici dans le domaine du *pratique*, et non plus dans celui du *théorique* et de l'absolu, nous devons assouplir nos procédés de travail, les adapter au but investigateur que nous voulons atteindre et raisonner plutôt en mécaniciens qu'en calculateurs. Et nous nous estimons parfaitement fondés à user d'analogies, en place d'identités, compte tenu des effets perturbateurs propres à chaque phénomène considéré et qui lui communiquent sa physionomie particulière.

A. Suivons les variations des éléments de fonctionnement d'une génératrice électrique à débit constant, en fonction de la résistance extérieure (fig. 2). La puissance totale est représentée par la courbe hyperbolique A; la puissance perdue, par la courbe hyperbolique B; la puissance utile, par la courbe d'allure exponentielle C qui se présente ainsi comme la différence de deux tracés hyperboliques.

En Balistique, A représenterait la combustion instantanée en vase clos, B les causes de perturbations entraînant des pertes, C la combustion réelle à volume variable. En Physique, A sera la courbe d'énergie du corps noir telle qu'elle ressort du calcul, B représentera les causes perturbatrices, C la courbe de l'énergie réelle.

B. L'application continue d'une force constante à un système matériel placé dans un milieu homogène et résistant s'exprime par une courbe logarithmique (fig. 3), alors que si, dans les mêmes conditions, on applique une impulsion au lieu d'une force constante, le tracé devient exponentiel. Ce dernier se présente alors comme la différence de deux logarithmiques ou

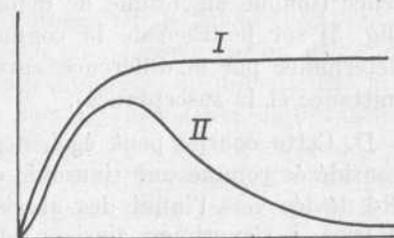


Fig. 3. — I. Application d'une force continue (logarithmique); II. Impulsion (exponentielle).

d'une logarithmique et d'une courbe plus complexe, comme sur le cas représenté sur notre figure, où les effets perturbateurs peuvent se classer en deux groupes distincts. Un exemple simple nous est fourni par le moteur à double cage d'écuriel (Boucherot). La figure 4 représente en I le couple en fonction de la vitesse pour une cage extérieure très résistante (laiton), la courbe II représente le couple pour une cage intérieure peu résistante (cuivre); le couple total est figuré en III.

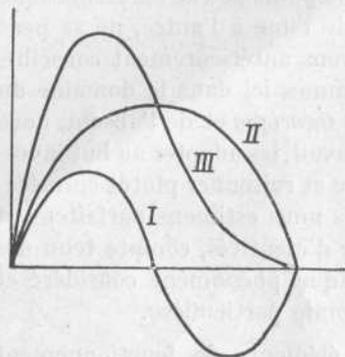


Fig. 4. — L'exponentielle considérée comme somme de deux sinusoides.

Dans l'ordre biologique, on voit sur la figure 3 les courbes relatives au développement de l'œuf. Les deux pseudo-logarithmiques relatives, respectivement aux élaborations d'acide urique et d'urée font visiblement apparaître l'existence d'un facteur retardateur linéaire, à rechercher.

C. La courbe exponentielle peut être la somme de deux ondes, comme le montre la figure 4, ou d'une onde et d'une cycloïde, ou encore comme la différence (somme algébrique de demi-ondes (fig. 5) sur le tracé de la conductance déterminée par la différence entre l'admittance et la susceptance).

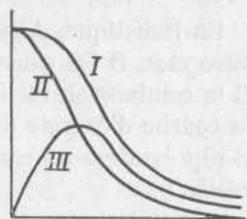


Fig. 5. — Différence de deux sinusoides (admittance — susceptance = conductance).

D. Cette courbe peut également être considérée comme une sinusoides dont la branche MA (fig. 6) a été déviée vers l'infini des abscisses par une influence retardatrice : s'exprimer ainsi, c'est simplement rendre d'une manière concrète l'essentiel du phénomène de l'amortissement total des oscillations. On peut le traduire d'une autre manière en considérant le tracé comme celui d'une sinusoides hyperbolique, ou comme la projection d'une hélice ou d'une spirale hyper-

bolique (fig. 7). Cette dernière conception est susceptible de rendre des services dans tous les problèmes où les mouvements

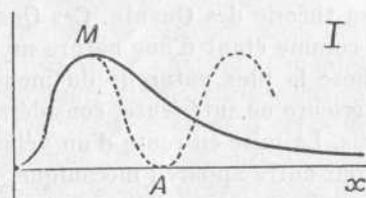


Fig. 6. — Influence d'une perturbation retardatrice sur un phénomène sinusoidal (transformation de l'oscillation harmonique ou oscillation amortie, ou de la sinusoides circulaire en sinusoides hyperbolique). Ce cas peut être considéré comme la projection de celui représenté en II, c'est-à-dire que le mouvement de translation prend, dans la génération de l'hélice, le dessus sur celui de rotation. (Allongement du pas de l'hélice.)

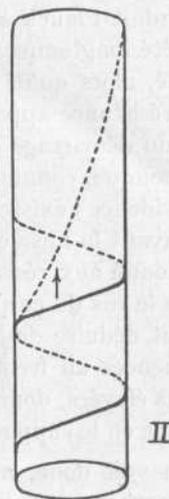


Fig. 7.

rotationnels interviennent; par exemple, en hydrodynamique et dans la théorie des tourbillons, elle montre que la translation a pris le dessus sur la rotation qui maintenait le mobile sur sa trajectoire hélicoïdale.

Il arrive très fréquemment dans les processus d'ordre physique qu'un phénomène se traduise par une courbe d'allure exponentielle au lieu de l'hyperbole indiquée par le calcul théorique, à cause des facteurs de résistance ou de perturbation dus à un manque d'homogénéité ou à des impuretés du milieu où se produit le processus, à cause du manque d'élasticité de la matière et pour quantité d'autres motifs analogues. Quand les conditions changent, on tend de plus en plus vers l'hyperbole. Comme phénomènes rentrant dans cette catégorie, nous citerons au hasard : l'action de l'acide chromique sur la sensibilité des plaques isolées, l'absorption diélectrique, la charge des batteries d'accumulateurs électriques, les processus de ferro-résonance, la décharge d'un condensateur en mica et, enfin, la courbe réelle d'énergie du corps noir à une température donnée (forme exponentielle) comparée

avec la courbe calculée par Rayleigh-Jeans d'après les lois de la mécanique classique (hyperbole). On sait que c'est la différence d'aspect de la courbe réelle et de la courbe théorique qui a conduit Planck à élaborer sa théorie des Quanta. Ces Quanta ont été longtemps considérés comme étant d'une nature mystérieuse, alors qu'ils sont la chose la plus naturelle du monde : une résistance apparente, extérieure ou intérieure, considérable, lors du démarrage du processus. La mise en route d'un véhicule quelconque, comme celle de tout autre appareil mécanique, met en évidence l'existence d'un certain Quantum d'énergie à atteindre avant la mise en route du dispositif, et ce quantum est proportionné aux résistances au démarrage qu'il s'agit de vaincre. Dans le cas du corps noir, cas qui n'est pas unique en physique, il faut déduire de l'examen des courbes qu'il existe aux hautes fréquences un freinage qui ne se produit pas à des fréquences moins élevées, donc que le comportement du milieu ne reste pas, comme on le suppose sans raison, toujours semblable à lui-même.

On voit donc, non seulement qu'il est possible de faire des rapprochements entre phénomènes semblant être fort éloignés les uns des autres — comme une brève contraction musculaire et l'accélération du projectile dans l'âme d'un canon, comme la décharge conductive d'un condensateur électrique et la vibration de la molécule d'ammoniac, comme la variation de brillance d'une *nova* enregistrée au télescope photographique et la conductivité d'un électrolyte en fonction de la concentration — mais qu'il est possible également de tirer de ces rapprochements de nouvelles manières d'exprimer les phénomènes et, par là, de nous aider à les mieux comprendre.

L'analogie mathématique nous montre que les actes de vie sont des processus explosifs; nous ne les avons vus ainsi qu'à dater du moment où le cinéma accéléré nous a montré l'éclosion d'un bouton de rose ou la transformation d'une chrysalide en papillon; il fallait un changement d'unité de temps pour que nous fussions en mesure de saisir sous leur vrai jour des manifestations vitales aussi courantes et, ainsi qu'il arrive souvent, la « vue de l'esprit » a précédé la vision matérielle.

Chose digne de remarque, et qui appelle certaines méditations : l'exponentielle relative à tous les phénomènes dont nous

venons de parler, et qui ne constituent qu'une infime minorité parmi la masse de tous ceux que nous aurions pu citer, cette exponentielle n'est qu'un cas particulier de la courbe statistique connue de tout le monde sous le nom de courbe « en cloche » ou « en chapeau de gendarme ». Ou mieux, c'est la cloche, c'est-à-dire la courbe symétrique par rapport à la verticale passant par son sommet, qui constitue le cas particulier, l'exponentielle, dissymétrique par rapport à cette même verticale, constituant le cas général. Or, il est curieux d'enregistrer ce fait que, dans la quasi-totalité des exemples que nous avons pu recueillir concernant cette courbe, la dissymétrie se montre dirigée dans le même sens, celui qui marque un temps nettement moindre pour l'écartement de la position d'équilibre que pour le retour à cette position; et mieux encore, il semble que le rapport des durées respectives de l'une et de l'autre phase se tienne dans des limites assez étroites, qui sont celles indiquées dans la fameuse loi de Buffon, en vertu de laquelle la durée maximum de vie des êtres vivants est environ cinq fois celle qui a été nécessaire à atteindre leur taille adulte. Matière à philosopher... Et il est peut-être plus curieux encore que cette remarque s'applique également à des constatations statistiques pures, telles que la mortalité quotidienne au cours d'une épidémie ou que la consommation journalière de vapeur d'une centrale électrique parisienne.

Signalons, pour terminer, et sans y insister, que la courbe exponentielle apparaît encore lors de la transformation par détecteur des oscillations à haute fréquence en oscillations audibles à basse fréquence. La membrane de l'écouteur vibre alors à la fréquence des trains d'ondes, suivant une transformation qui peut fournir de nouvelles analogies.

CHAPITRE III

PHILOSOPHIE DES MÉCANISMES

L'arithmétique nous mène vers la connaissance, l'évaluation, le maniement du *nombre*, de la grandeur, de la quantité, et ceci, en dehors de toute attribution matérielle ou spatiale des éléments qu'elle fait jouer. La géométrie introduit un facteur nouveau, l'*espace*, et nous apprend à l'explorer arithmétiquement ou algébriquement. L'étude de la mécanique comporte l'apparition d'une troisième donnée fondamentale : le facteur *temps*, d'une si haute importance pour une juste appréciation de tous les phénomènes naturels.

Le facteur temps. — Si « le temps ne fait rien à l'affaire », lorsqu'il s'agit pour Alceste de porter un jugement sur le sonnet d'Oronte, l'importance du temps se montre prépondérante lors de l'analyse des résultats par rapport aux causes qui les ont engendrés : lancez une petite balle dure dans une vitre de moyenne grandeur; selon la vitesse avec laquelle le projectile atteint l'obstacle, ce dernier est, ou déformé temporairement, ou fêlé, ou brisé; tirez un coup de revolver dans cette même vitre, la balle passe au travers, ne laissant qu'un petit trou rond à son impact. Or, la vitesse est une fonction inverse du temps. Ouvrez un traité de physique : on vous y apprend qu'un coulomb est une quantité d'électricité susceptible de provoquer le dépôt électrolytique de 0,33 milligrammes de cuivre dans une solution saline adéquate. Mais, ce qu'on ne vous dit pas, en dépit de la valeur essentielle de ce renseignement dès qu'on veut approfondir les phénomènes ioniques, c'est qu'il n'est nullement indifférent que ce coulomb ait accompli son travail en une heure, en deux heures, ou bien en dix. Dans le premier cas, le dépôt est pulvérulent,

dans le second il est de structure spongieuse, et dans le dernier, le dépôt est dur, à grain fin et régulier.

Les métaphysiciens ont philosophé depuis des siècles, philosophent plus que jamais et philosopheront jusqu'à la consommation des siècles sur le concept de la durée. Nous ne voulons point ici nous laisser entraîner à leur suite et nous perdre avec eux dans les nuées. Et personne ne nous semble avoir mieux dit que saint Augustin : « Pour comprendre le temps et sa mesure, il faut se dégager des impressions confuses des sens et rentrer au fond de la conscience. C'est en toi-même, ô mon esprit, que je mesure le temps... Et ce que je mesure, à proprement parler, c'est l'impression que les choses font en toi lorsqu'elles sont présentes, et qui y subsistent après qu'elles sont passées. C'est cette impression même, qui m'est encore présente, que je mesure, et non pas ce qui l'a produite et qui est déjà passé. Voilà donc ce que je mesure lorsque je mesure le temps, c'est cela même, et c'est cela seul, ou il n'est point vrai que je mesure le temps. »

Le temps suppose donc un changement, alors que l'espace nous semble immuable. L'idée de temps est, par suite, inséparable de succession et cette succession s'ordonne en une série linéaire : la date ou la durée comptée depuis une origine convenue suffit pour marquer la place d'un phénomène dans le temps, d'un événement dans l'histoire (Cournot).

L'esprit parvient à la conception du temps en franchissant deux étapes : la première consiste en la *discrimination* des phénomènes, la seconde en la reconnaissance d'une séquence, d'une *ordination* imposant un classement dans la succession des images, ou traces laissées en nous par les phénomènes quand ils sont tombés dans le domaine du passé. Dans l'enfance de l'individu, comme cela fut dans celle de l'humanité, les impressions chaotiques ont été progressivement remplacées par un classement d'abord incertain, que l'éducation endogène et exogène a précisé peu à peu. De perfectionnement en perfectionnement, l'homme s'est progressivement dégagé de sa chronologie subjective pour la muer en une chronométrie objective, s'élevant du rythme nycthémeral jusqu'au temps sidéral, par qui nous a été fournie cette « seconde sexagésimale de temps moyen » du système C. G. S.

Ainsi, de la simple intensité de persistance des impressions

— constituant une référence à contours vagues et sans attache fixe — à ce sentiment primitif et égocentrique d'où dérive le *temps physiologique*, l'homme, dès qu'il s'est haussé au-dessus de lui-même, a éprouvé le besoin de substituer une mesure aléatoire du temps et de s'en rapporter, pour cela, à un étalon quasi fixe, à un changement de figure céleste, donc hétérocentrique. Ce qui lui a permis, par simple réaction, d'entreprendre l'éducation de son propre sens chronologique. On pourra objecter que, de la sorte, nos mesures de niveau continuent à s'effectuer en prenant leur départ d'un plancher qui oscille : nous répondrons que le progrès se marque par la réduction de l'amplitude des oscillations, réduction entraînant à sa suite une augmentation concomitante du degré de certitude de la mesure.

F. Warrain a donc eu raison de considérer que « le temps et l'espace sont les deux moyens d'emprise exercée par l'esprit sur la matière pour établir l'ordre dans le chaos ».

Le temps détermine la qualité. — « La vie, telle que nous la connaissons, dit encore Warrain, se développe à travers l'espace et le temps en quantité et en qualité. » Nous ajouterons, en nous excusant d'avoir recours à des néologismes pour mieux préciser notre pensée : alors que, dans le déroulement des phénomènes naturels, l'espace est un facteur plus *quantitatif* que *qualitatif*, le temps est, au contraire, plus *qualitatif* que *quantitatif*. Un tel énoncé demande quelques explications.

Tous les actes énergétiques auxquels nous assistons ou participons sont dominés par le principe de la Conservation de l'énergie. Mais le fameux « Rien ne se perd, rien ne se crée » doit se compléter par : « ...mais tout se transforme ». On a l'habitude de poser des équations ou de dresser des bilans énergétiques mettant en valeur la circulation d'énergie qui accompagne un phénomène et établissant qu'il n'y a eu, en fin de compte, ni gain ni perte d'énergie. D'accord. Mais ce que l'on omet de dire explicitement, c'est que tout acte énergétique s'est dégradé en chaleur, laissant derrière soi une empreinte, une trace, une mutation de forme ou de structure des éléments en jeu. Ceci compense cela. Pour peu que nous y réfléchissions, nous ne tardons pas à nous apercevoir que tout dans le monde n'est que *martelage d'éther* et *modifications d'architectures* moléculaires. Descartes avait raison :

« Tout se traduit par figure et mouvement. » Et nous nous faisons une idée erronée ou partielle de la plupart des faits de Nature, parce qu'on nous a seulement enseigné à observer le mouvement et jamais, ou presque, à voir la figure qui est son accompagnement obligé. Or, ne venons-nous pas de le dire, c'est sur la comparaison des figures que se fonde la notion de temps.

Passant de l'abstrait au concret, examinons quelques exemples susceptibles d'éclairer notre proposition. Reprenant le cas de l'électrolyse du cuivre, n'y voyons-nous pas qu'allonger la durée de l'opération c'est aboutir, quant à la matière du dépôt obtenu, à une structure plus homogène et plus fine, à une résistance mécanique accrue?

A l'abri de l'air, la fermentation de la levure produit de l'alcool; exposé à l'air par étalement en couche mince, la même culture est activée et pousse des milliers d'articles : une morphologie d'ordre végétal s'est substituée à la morphologie d'ordre chimique.

Une veine liquide animée d'une grande vitesse, comme celle qui débouche du tuyau d'amenée aux turbines dans une station hydro-électrique desservie par de hautes chutes, ne peut être coupée d'un coup de sabre : l'eau semble solidifiée. Solidifié aussi l'air dans lequel évolue à très grande vitesse une automobile ou un avion. On peut donc supposer que l'énorme vitesse de circulation des électrons sur leur orbite rend effectivement les atomes insécables, ainsi que le pensaient, pour d'autres raisons, les philosophes de l'école de Démocrite.

Ainsi, dans tous les exemples que nous venons de citer, les mêmes causes ont produit des effets différents, selon le degré auquel le facteur Temps a participé au processus. Le temps a donc bien rempli, quant au résultat, un rôle essentiellement qualificateur et tout se passe comme si, d'autre part, la matière opposait une « réaction de défense » à toute agression brusquée.

La Nature, dans son ensemble, effectue toutes ses réalisations à force de temps, ce qui lui permet une remarquable économie de moyens. Les émaux industriels sont, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus résistants qu'ils ont été obtenus à une plus haute température, avoisinant 1.800 ou 2.000° C. Or, l'émail dentaire possède des qualités qui le placent fort au-dessus de

tous les émaux artificiels bien qu'il soit formé à une température n'atteignant jamais 40° C. ; le concours du temps a remplacé avec avantage celui de l'énergie calorique. C'est pourquoi, le vivant, au rebours de ce qui arrive chez l'inerte, comporte une gamme si remarquablement étendue de dispositifs susceptibles d'amortir, c'est-à-dire de diluer ou d'étaler dans le temps, les énergies qu'il reçoit sous forme de micro-chocs et qui viennent, ou entretenir son existence, ou la troubler.

Tous les phénomènes d'aspect disparate que nous avons pris en exemples sont cependant liés par une propriété commune : le rôle essentiel du temps dans le déterminisme de leur morphologie, que celle-ci soit réelle ou fictive. Le temps est un modificateur d'organisation structurale et c'est à cette notion élémentaire que nous nous en tiendrons dans ce qui suit.

Mécanique. — L'étude des mécanismes propres aux actes vitaux fait surgir une infinité de problèmes particuliers qui ont été, la plupart du temps, abordés dans un esprit de conformisme trop strict envers les énoncés didactiques. L'enseignement de la science mécanique a ses besoins, se traduisant en formules stéréotypées ; mais les applications de cette même science, en obligeant l'esprit à en interpréter les lois pour les appliquer avec subtilité, se chargent de créer une *métamécanique* mieux adaptée aux nécessités de la pratique, donc moins formelle, possédant une portée plus générale, un sens philosophique plus accusé. Cette métamécanique ne saurait s'apprendre dans les livres : elle est uniquement le fruit de l'expérience réfléchie.

Dès que quelque fait particulier semble mettre en défaut l'un ou l'autre des grands principes constituant les assises de la mécanique classique, se hâter d'en conclure que ce principe est erroné, c'est faire montre d'une certaine légèreté. Est-on sûr d'avoir tenu compte des limites hors desquelles le principe ne joue plus ? Est-on sûr que quelque facteur imprévu n'a pas été discerné, qui était susceptible de modifier ou d'inverser les résultats constatés ? Il existe d'illustres exemples de semblables bévues. Pour les éviter, il faut s'attacher à acquérir ce *sens* de la mécanique qui provient de l'examen critique, maintes fois répété, des faits réels. Confronter la théorie avec les cas concrets, tel est l'essentiel.

Statique. Cinématique. Dynamique. — Il est d'usage courant, en biologie, d'établir une sorte d'opposition entre phénomènes d'ordre statique et phénomènes d'ordre dynamique. Dans la réalité des choses, il n'y a que des processus dynamiques, les uns s'accomplissant dans l'ordre cinématique, c'est-à-dire avec des mouvements apparents, les autres s'accomplissant dans l'ordre statique, c'est-à-dire marqués par des positions d'équilibre où les vitesses sont virtuelles et toujours prêtes à s'actualiser, à moins qu'elles ne soient réelles, mais inaccessibles à nos sens ou à des moyens insuffisants de mesure. Les actions moléculaires se produisant au sein d'une matière soumise à un effort de traction, de compression, de torsion ou de cisaillement, constituent un exemple de ce dernier cas, comme les équilibres vitaux en forment un autre.

D'après sa définition élémentaire, le travail est « le produit d'une force par le déplacement de son point d'application ». Certains se croient autorisés à en déduire que, dans tous les cas où ce déplacement ne se produit pas, il n'y a aucun travail accompli. Ainsi, un poids quelconque, maintenu sur un appui quelconque, donc à hauteur invariable, sera supposé être dans une telle condition. C'est une illusion qu'il convient de dissiper.

Un moteur sur le volant duquel est équilibré un frein dynamométrique à poids (frein de Prony) emploie son énergie motrice à opposer à tout instant, au couple de renversement créé par le poids P amené à position invariable, un couple de frottement égal et directement opposé. Toute l'énergie dépensée est transformée en chaleur dissipée dans le milieu ambiant ou transmise à l'ensemble du système, et finalement rayonné par la jante de la poulie. L'immobilité du poids est toute relative (cette immobilité n'existe que par rapport à l'observateur et non par rapport à un point pris sur la jante de la poulie) et ne l'empêche pas d'être générateur d'un travail de frottement équivalent à celui fourni par le travail moteur. Comme tous les travaux dits *statiques*, il ne met aucunement en échec la définition classique.

Dans le travail cinématique, ou cinétique, le mouvement est nettement apparent. Comme dans le premier cas, il se résout finalement en chaleur. Si, dans l'ordre statique, la transformation

est immédiate, elle est différée dans le second cas. C'est là toute la différence.

L'étude du fonctionnement du frein de Prony, comme celle du travail musculaire dépensé pour maintenir un poids à hauteur fixe, comme celle, également, du travail accompli par les planètes dans leur déplacement autour du soleil — c'est-à-dire des travaux statiques les plus divers — nous conduit à énoncer ce principe : l'entretien d'une force constante consomme une quantité d'énergie donnant la mesure des résistances passives du système employé; l'entretien d'une force correspond donc à un travail, au même titre que le déplacement de son point d'application. D'un cas à l'autre, il y a la différence du virtuel à l'actuel.

Ce que nous disons des forces s'applique également aux couples, les machines industrielles entretenant généralement des couples, tandis que le vivant entretient des forces.

Énergie potentielle. Énergie cinétique. Translation et rotation. — Introduite par Euler dans sa *Theoria motus*, reprise par Lagrange, Poisson, Cauchy, Green, Gauss, et d'autres encore, la notion de potentiel a été finalement mise au point par Clausius : c'est une fonction mathématique qui peut ainsi se traduire en langage ordinaire : *Dans un champ de forces, le potentiel est le travail correspondant au transport d'un point d'une distance infinie à sa position réelle.*

Cette définition a le tort de ne pas mettre explicitement en valeur ce qui est le *quid proprium* de l'énergie potentielle. Celle-ci n'est rien d'autre qu'une énergie de conserve, ou de réserve, qui se consomme en s'actualisant.

La distinction à établir entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique est due à Rankine. L'énergie cinétique, dont l'aliment est la puissance vive ($1/2 mv^2$), est due à des forces actives provoquant un changement de lieu. L'énergie potentielle n'est rien d'autre que l'ancienne *force morte* de Leibniz, l'ensemble des *forces passives* de Lagrange, et provoque des tensions. On voit immédiatement quelle analogie étroite existe entre ce que nous rappelons maintenant et ce que nous venons de dire au paragraphe précédent, relativement à la différence à établir entre le travail cinématique et le travail statique.

La véritable nature du potentiel et du réel nous apparaît immédiatement si nous voulons bien nous souvenir d'un des premiers théorèmes de la statique : « L'ensemble des forces auxquelles est soumis un corps en équilibre peut toujours se ramener à une seule force et à un couple. » Mais cette force et ce couple représentent des *possibilités* de mouvement, autrement dit : des *mouvements virtuels* qui, lorsqu'ils s'actualisent, nous conduisent à cet autre énoncé, figurant seulement sous une forme implicite et moins simple dans les traités classiques : « Tout mouvement d'un corps qui se déplace peut être ramené, à chaque instant, à un mouvement de translation et à un mouvement de rotation. » Ajoutons, pour être précis et complet, que, dans le cas à la fois le plus simple et le plus fréquent, ce mouvement de rotation s'accomplit autour d'un axe qui n'est autre que la tangente à la trajectoire du centre de gravité du mobile, à l'instant considéré. Ne nous arrêtons pas à la démonstration de cette proposition; elle ne présente aucune difficulté mathématique.

Par contre, arrêtons-nous un instant pour saisir la signification profonde de la correspondance établie entre l'aspect statique et l'aspect cinématique de la même question. Il apparaît avec évidence que la *puissance vive* provoquant les changements de lieu exprime l'*énergie de translation*, l'énergie en acte ou énergie cinétique, alors que l'énergie potentielle ou tensorielle est une énergie de position relative au *mouvement de rotation*, lequel maintient le mobile « sur place », ou en puissance, en tension.

Nous serions heureux que chacun de nos lecteurs voulût bien s'arrêter un instant et prendre en spéciale considération la représentation objective que nous venons de donner à une notion mathématique, fort souvent incomprise de ceux-là même qui la possèdent. Cette conjonction-disjonction du translatif et du rotationnel dans le mouvement d'un mobile est fort importante et fournit une clef pour l'exacte compréhension d'une infinité de phénomènes mécaniques et, plus particulièrement, de ceux dont les êtres vivants sont le siège. Nous aurons fréquemment à en faire l'application, soit dans l'étude des tourbillons, soit dans celle des processus biologiques les plus variés.

En résumé, les mouvements élémentaires d'un mobile peuvent se ramener, si nous avons gardé en mémoire la définition précé-

demment donnée de l'hélice, à des mouvements hélicoïdaux instantanés, c'est-à-dire à une combinaison de mouvements de translation et de mouvements de giration, avec deux limites singulières : la première correspond à l'annulation de la rotation et à la manifestation de la seule translation : c'est l'actualisation ou le développement d'une énergie cinétique pure; la seconde correspond à l'annulation de la translation, avec conservation de la giration, et c'est l'apparition d'une énergie élastique, ou potentielle. Que l'on se reporte, d'ailleurs, au mémoire original de Clausius (*Du Potentiel et de la Fonction potentielle*) et l'on pourra se convaincre que nous n'avons pas trahi la pensée du Maître, qui a lié les considérations de potentiel et celles relatives aux obstacles empêchant un mobile de se mouvoir en toute liberté, et qui a montré que le travail des forces agissantes est égal à l'accroissement du potentiel de l'agent fixe et de l'agent mobile, ce qui revient à dire : *Il n'existe dans la nature que deux mouvements d'essence différente*; le premier est le mouvement de translation, ou mouvement libre; le second est le mouvement de giration, ou mouvement assujetti, par perte d'un degré de liberté.

En nous excusant d'insister encore, mais cela nous semble nécessaire pour ce sujet de la plus haute importance et qui nous prépare à la compréhension plus nette des processus vitaux, faisons cette autre remarque que c'est le mouvement assujetti qui donne la durée et la stabilité à la translation d'un mobile. Que notre pensée se reporte, du même coup, vers la notion d'inertie, cette dernière considérée comme fille de la giration, et nous arrivons à cette constatation que l'inertie est une résistance passive utilisable et nécessaire à l'accomplissement des phénomènes naturels, au même titre que l'adhérence est une résistance indispensable à l'avancement d'un véhicule ou à toute locomotion. Et ces considérations nous permettent de généraliser la notion des *points d'appui* : nous pouvons dire que la translation s'appuie à chaque instant sur la giration pour se maintenir, en durée et en direction, sur sa trajectoire.

La démonstration directe fournie par J. Bernoulli, puis par Lagrange, et qui a conduit au Principe de la Conservation de l'énergie, permet de formuler que *la somme des énergies potentielle et cinétique est constante dans toutes les transformations*, d'où

nous pouvons déduire cette autre notion importante de la *mutabilité* des deux formes d'énergie l'une dans l'autre, ou de leur *réciprocité*.

Nous ne tarderons pas à le voir : tout le jeu du monde, toutes les manifestations de Nature, tiennent dans les rapports respectifs de l'actuel et du virtuel, du cinétique et du potentiel, du translatif et du rotatif, du mouvement libre et de l'assujetti...

Dégradation d'énergie et Trace. — Le principe de la Conservation de l'Énergie est théoriquement applicable à tous les processus mécaniques, mais l'expérience a montré que dans tous les essais ayant pour but de transformer une puissance vive en énergie potentielle, intervenait une perte. Carnot a expliqué cette perte dans le cas du choc des corps non élastiques et a fait voir que si l'on tient compte, dans le calcul, des actions moléculaires, le principe reste inaltéré. Or, et c'est là le point intéressant, ces chocs se résolvent aussitôt en chaleur immédiatement dissipée dans le milieu ambiant; ce qui nous conduit tout de suite vers cette autre notion capitale, que la fidélité persistante des biologistes à une interprétation erronée des travaux de Lavoisier les a empêchés d'utiliser : dans la potentialisation des forces vives, la chaleur est un *excretum* dont l'apparition révèle l'existence de résistances passives dans le système en jeu et dont la mesure fournit l'ordre de grandeur desdites résistances. La chaleur est, en quelque sorte, la *rançon*, le tribut auquel la matière asservit l'énergie.

Au lieu de chercher à appliquer le cycle de Carnot aux êtres vivants, tentative destinée à demeurer infructueuse pour la bonne raison qu'il n'existe pas de cycle réel dans la nature, mieux aurait valu tenir compte du second théorème fondamental de Clausius : « Tout processus qui s'accomplit dans la nature est tel que la somme des entropies de tous les corps participants devient plus grande. » Autrement dit, l'égalité de la chaleur cédée et reprise dans le cycle ne peut se produire que théoriquement; pratiquement, elle est inadmissible, parce que la production de travail par la chaleur n'est possible que si cette chaleur tombe d'une température plus haute à une température plus basse. L'entro-

pie, ou dQ , doit donc toujours être considérée dans un cycle non fermé et, par suite, comme une valeur croissante. L'entropie de l'Univers tend vers un maximum.

Nous comprenons donc maintenant les raisons intimes qui établissent un divorce entre les énoncés théoriques de la mécanique et leur application pratique : *on ne peut pas être et avoir été*, dit la sagesse des nations; les transformations d'énergie n'échappent pas à cette règle absolue; dans toute transformation, il y a perte parce que cette transformation s'accomplit obligatoirement au sein de dispositifs matériels comportant des résistances internes qui mobilisent une partie de l'énergie en jeu et la dissipent immédiatement. Dans de telles transformations, *l'énergie se conserve bien en quantité, mais non en qualité*; c'est faute de tenir compte du facteur qualitatif que certains théorèmes semblent parfois en défaut.

La forme, émanation de l'énergie. — En dernière analyse, tout travail est une communication de mouvement, et toute communication de mouvement entraîne une perte de vitesse; tel est le fait primordial qui se manifeste dès qu'on abandonne les spéculations valables seulement dans un monde théorique et irréel, pour observer ce qui se passe dans le monde où nous vivons et dont l'organisation comporte des résistances passives entraînant à leur suite tout un cortège d'effets perturbateurs. Le travail correspond donc à une chute d'énergie, sous une forme dépendant des circonstances infiniment variées de son apparition, et cette chute s'emploie en deux portions dont l'une est utilisable et l'autre perdue. De là est née cette notion de *rendement* dans les processus énergétiques. De là aussi l'établissement des équations économiques ou des bilans énergétiques permettant d'identifier les différentes mutations de l'énergie mise en jeu pour l'obtention d'un effet quelconque. Mais il y a une chose que ne font pas apparaître ces bilans ou ces équations : c'est que toute énergie qui s'est employée et s'est finalement dégradée sous forme de chaleur, laisse après elle un fait accompli, une trace de son activité, une empreinte, de telle sorte qu'on peut poser ce principe : *A tout travail accompli correspond une mutation de forme ou de structure de système où il s'est produit*. Ainsi, l'énergétique détermine la morphologie et tout changement d'état ou de figure,

dans les objets de l'Univers, est le corrélatif obligé d'un travail, positif ou négatif, extérieur ou intérieur.

Formulons dès à présent une remarque qui trouvera sa pleine utilisation lors de l'étude des champs de force : la translation et la rotation correspondent à des mouvements s'accomplissant dans des directions orthogonales, les premiers mouvements tendant à un entraînement du mobile le long d'une trajectoire donnée, les seconds tendant à maintenir ce même mobile sur chaque élément de sa trajectoire et le maintenant effectivement sur l'un d'eux lorsque cesse l'effort de translation. On comprend dès lors que la translation représente le principe accélérateur de la mutation de forme, alors que la giration représente un principe d'inertie stabilisatrice, conservatrice, freinatrice de cette même mutation. Nous sommes ainsi amenés à une notion de *qualité* de mouvement, fort importante à connaître pour aborder avec fruit les problèmes de morphologie, mais fort utile également dans certaines applications de la mécanique et en particulier, dans la balistique.

Utilité des résistances passives. — La physique pure tient fort peu compte des résistances passives, qui sont cependant la condition *sine qua non* de l'accomplissement des phénomènes. Dans la physique classique, tous les processus semblent se dérouler dans un milieu idéal où nulle entrave ne vient déformer leur beauté naturelle. La mécanique, par contre, est obligée de leur réserver une place importante : ne sont-elles pas le facteur abaissant le rendement des appareils et, comme telles, ne doit-on pas leur faire une chasse impitoyable?

Si, avec le constructeur et l'utilisateur de tous les engins mis à notre disposition par l'industrie moderne, nous devons reconnaître que les résistances passives sont la pire des choses, nous devons aussi, d'autre part, en examinant les faits d'un point de vue plus indépendant, considérer ces mêmes résistances comme la meilleure des choses. Sans elles, rien ne pourrait exister, ni durer et notre vaste monde n'est rien d'autre qu'une mise en exploitation universelle des résistances passives : rien ne se peut faire sans leur appui.

Le monde étant matériel comporte, *ipso facto*, un certain ordre, un certain arrangement de ses éléments juxtaposés dans un cer-

tain équilibre mouvant et, comme tous les systèmes en équilibre, il oppose à toutes les modifications tendant à détruire cet équilibre, des processus, des réactions tendant à modérer l'influence de la modification. Nous ne faisons là qu'appliquer la loi de Vant'hof; nous aurions pu nous contenter d'invoquer le principe d'égalité de l'action et de la réaction.

Donc, les résistances passives *sont*. Leur présence engendre la dissymétrie, la rupture d'homogénéité, la discontinuité nécessaire pour créer le point d'appui permettant le démarrage et l'entretien des processus énergétiques : l'oiseau ne pourrait voler dans le vide et le glissant du verglas nous rend la marche impossible. Le travail stérile et nécessaire des résistances passives est le prélèvement obligatoire de notre univers sur le capital énergétique. Aucun autre fait n'est mieux en mesure que celui-là de nous montrer que la Nature ne se propose aucun but, comme elle n'accorde aucun sens directionnel aux phénomènes dont elle est le siège : elle ne les juge pas, elle les accomplit. Il faut un observateur pour leur donner un sens ou une signification qui constituent des appréciations purement subjectives. Les aiguilles d'une horloge ne tournent *dextrorsum* que pour celui qui est posté face au cadran; pour celui qui regarde le cadran par son revers, les aiguilles tournent *sinistrorsum*; celui qui jette les yeux sur le profil ne voit plus que des élongations cosinusoidales... De même, il n'y a pas de processus constructifs s'opposant à des processus destructifs; on ne fait pas une omelette sans casser d'œufs et on ne bâtit un palais de marbre qu'au détriment d'une carrière. On ne construit pas sans détruire de manière équivalente, et l'on se contente de changer les situations respectives des éléments, de muter les matériaux en formant de nouvelles figures en place des anciennes. Descendons plus bas dans l'échelle de l'organisation du monde : tout n'y est que martelage d'éther et forme conséquente.

De même, les résistances passives ont à la fois leur utilité et leur inconvénient : quand l'adhérence au sol est inférieure à une certaine valeur, les roues de la locomotive patinent et il faut faire intervenir les sablières, c'est-à-dire créer une résistance passive à la hauteur de la tâche à accomplir.

Un dispositif ne peut se mettre en branle qu'après avoir vaincu les déformations et les frottements qui s'opposent à son mouve-

ment : il y a donc une action mobilisatrice précédant l'action motrice utile; elle prépare et détermine le franchissement du *seuil* qui sépare le repos du mouvement et représente un *quantum* d'énergie au-dessous duquel il ne se passe rien de perceptible, encore que ce rien dissimule un travail de préparation indispensable au déclenchement de l'acte.

Lorsqu'un mobile se déplace dans un milieu réel, il ne suffit pas qu'on lui ait communiqué une lancée; il faut maintenir celle-ci dans l'exacte mesure imposée par les résistances à vaincre : résistance de l'air, frottement de roulement, résistances internes du dispositif, profil du trajet, etc. Au temps mort, perdu, quantitative correspondant au travail des résistances passives et à la période variable du démarrage et de l'accélération positive correspondant à la masse du mobile, succède la période d'état du déplacement proprement dit, lequel se termine, à l'arrêt, par une seconde période variable, d'accélération négative, provoquée par la mise en jeu de résistances passives auxiliaires, sous forme de frottements immédiatement transformés en chaleur. C'est ici que se place une remarque importante : pour amener un mobile d'un point A à un point B, deux moyens mécaniques s'offrent à nous : 1° l'emploi d'une force explosive, lançant une fois pour toutes le mobile, force calculée et prédéterminée d'après un ensemble de données expérimentales; c'est le cas des projectiles dans les armes à feu; 2° l'emploi de deux sources d'énergie, l'une accélératrice (moteur), l'autre retardatrice (frein), dont l'emploi convenablement alterné permet de conduire le mobile vers son but. Le premier procédé comporte toujours, quant au résultat, une part d'incertitude qui n'existe pas dans le second. Certes, le tir d'artillerie donne, de nos jours, des résultats remarquables par leur précision; mais ces résultats sont obtenus exactement dans la mesure où ont été rendues prévisibles les perturbations de trajectoire dues à l'influence de la charge et du canon, d'une part, des conditions atmosphériques et terrestres (pesanteur), d'autre part. Survienne un facteur imprévu, et le tir est à rectifier. Tout autre est le cas d'un mobile se déplaçant, par exemple, sur le sol, comme le fait une automobile ou une locomotive : dans ce cas, les résistances passives et les incidents pouvant survenir en cours de route sont, autant dire, imprévisibles, tout au

moins dans une large mesure. Quoiqu'elles soient comprises entre certaines limites, l'adaptation quasi instantanée aux circonstances diverses du parcours représente une nécessité de sécurité telle qu'elle peut seulement être satisfaite par le second moyen. Ajoutons que la question d'opportunité de l'intervention de chacun des deux mécanismes antagonistes nécessite, en plus, la présence d'un *élément directeur*, contrôleur, susceptible de déclencher en temps voulu l'intervention de l'un ou de l'autre. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que, dans le cas du projectile, l'élément stabilisateur est constitué par un mouvement giratoire; et si l'élément directeur n'est pas présent à tout instant, il est intervenu dans le choix des données de tir.

Ces développements n'étaient pas inutiles, croyons-nous. Les biologistes ont une tendance un peu trop marquée à s'imaginer que les mécanismes vivants appartiennent au premier type et marchent sous l'effet d'une impulsion unique, alors que le plus grand nombre d'entre ces mécanismes appartient au second type, la puissance s'y développant par petites poussées successives donnant, par leur fusion, l'impression d'un agent moteur continu; mais ce dernier demeure toujours sous le contrôle d'un dispositif de freinage. L'attention se porte uniquement sur les accélérateurs — hormones, vitamines, etc.; il faudra bien qu'elle se porte quelque jour sur leurs antagonistes, sans lesquels aucun réglage fonctionnel n'est possible.

Ces antagonismes commencent, timidement, à s'assurer droit de cité en Biologie. Corps antioxygènes, antivitamines, anti-aliments, pigments freinateurs, etc., s'introduisent dans le bagage de nos connaissances nouvelles. Ce n'est qu'un début.

Certes, le point de vue du mécanicien diffère, en semblable matière, de celui du théoricien : les perturbations introduites dans les processus par l'existence de facteurs internes ou externes modifiant à tout instant l'allure des phénomènes, se traduisent, lors de leur enregistrement, par des modifications du tracé géométrique idéal; ces modifications peuvent être telles que le tracé régulier arrive à n'être plus discernable à première vue. Nous devons donc, dans nos développements ultérieurs, réserver une part aux méthodes permettant de reconstituer ce tracé et de discriminer les influences diverses qui en provoquent la déformation.

La vitesse de régime. La loi de l'optimum. — Une machine industrielle ne travaille économiquement, c'est-à-dire avec le maximum d'utilité, qu'à une certaine vitesse qui lui est propre et qu'on appelle *vitesse de régime*. Les dispositifs que nous mettons en œuvre ne correspondent jamais, en effet, à ces types idéaux déterminés par la théorie. Une machine, c'est un ensemble, or, chacune des parties de cet ensemble exige, dans sa réalisation la meilleure, un certain nombre de qualités. Il se trouve que les qualités requises pour l'établissement d'un organe sont, fort souvent, contraires à celles demandées par l'établissement d'un autre organe connexe. Tout projet conduit donc à des remaniements successifs, où l'on s'efforce d'approcher le maximum dans chaque réalisation partielle, sans cependant sacrifier trop fortement une partie au détriment des autres. De concession en concession, d'approximation en approximation, le constructeur parvient, dans une certaine mesure, à concilier les inconciliables; aucune des qualités du dispositif d'ensemble n'a pu être portée à son paroxysme, mais on a établi entre elles une certaine harmonie, et ce mauvais arrangement, préférable à un bon procès, représente ce que R. Baron a appelé *l'optimum*. La loi de l'optimum, qui domine la mécanique industrielle, domine également la biologie et nous aurons fréquemment l'occasion de le rappeler.

Prenons un exemple accessible à tous, puisqu'il y s'agit d'un engin familier : le moteur d'automobile; le client formule, à juste raison puisqu'il s'agit de tirer de son usage le plus possible d'agrément, des exigences qui se contrarient les unes les autres si l'on tient compte des possibilités de la construction. Il demande que son moteur ait une grande souplesse de fonctionnement, permettant de rouler à des allures très différentes sans obligation de manœuvrer à chaque instant le changement de vitesse; il demande de bonnes reprises, c'est-à-dire une grande accélération au démarrage; il demande un fonctionnement silencieux à tous les régimes, un encombrement pas trop important, afin que le capot ne nuise pas à la ligne générale de la voiture, et un poids raisonnable, n'agissant pas défavorablement sur l'usure des bandages; il demande que son moteur ait un appétit réduit en essence et en huile, en même temps qu'une robustesse qui le mette à l'abri des réparations fréquentes; il demande

encore quantité d'autres avantages. Si l'on veut porter chacune de ces qualités à son maximum, on s'aperçoit immédiatement que le moteur répondant point pour point à toutes ces conditions est irréalisable, à cause de l'antagonisme existant entre les données imposées par chaque qualité prise en particulier. Ainsi, l'économie de combustible demande une détente poussée, donc un rapport élevé des dimensions de course à alésage, alors que la souplesse s'acquiert par un rapport inverse. Bref, le constructeur doit faire une cote mal taillée entre les différentes nécessités d'établissement, et se fixer au « centre de poussée » de la résultante des divers desiderata. Là est la vérité économique.

Il est à remarquer que, dès l'instant où l'on veut déplacer ce centre, par exemple lorsqu'il s'agit d'établir un moteur pour une épreuve sportive où la faible consommation est le facteur déterminant, c'est seulement par un abaissement de toutes les autres qualités qu'on atteint au résultat désiré. La spécialisation s'oppose à l'obtention de l'optimum.

On conçoit donc que la dureté, la ténacité, l'élasticité et les diverses caractéristiques des matériaux mis en œuvre dans une fabrication, que le poids et la résistance des pièces entrant dans la composition d'un organe de machine, que l'ensemble formé par les divers assemblages, que le mode d'utilisation de l'engin, que tous ces facteurs réunis constituent un tout, possédant une harmonie personnelle, un rythme particulier de fonctionnement, ou vitesse de régime. C'est pourquoi, comme le remarque R. Baron, « les lois physicochimiques de l'Univers semblent dominées par un ordre supérieur de *réglementation économique* que Leibniz invoquait dans son système optimiste des « harmonies préétablies ». Cette réglementation est celle imposée par le *Principe du moindre effort*, dont la mise en jeu apparaît derrière tous les phénomènes naturels lorsque les processus s'en déroulent librement.

En somme, la spécialisation se présente comme une déviation de l'équilibre harmonique ou économique, ce qui est tout un. Le développement de cette remarque mène directement à étudier le principe de la division du travail, grand directeur dans l'évolution des êtres organisés. Nous y reviendrons plus loin.

Principe du moindre effort. — Les anciens philosophes, à la suite d'Aristote, avaient posé cet axiome, de signification un peu vague : « La Nature ne fait rien en vain. » Il revenait à Maupertuis de poser le principe général de « la moindre action », qui rentre dans la loi de conservation de l'énergie, ou de conservation des forces vives. Lord Kelvin l'a considéré sous la forme qui lui a été donnée par Lagrange pour en déduire la loi du mouvement libre en vue d'un système « conservatif ». Malheureusement, personne ne l'a suivi dans cette voie féconde. Seul, Helmholtz en a reconnu l'importance et a fourni cet énoncé : « Pour une valeur donnée de l'énergie, l'inertie conduit toujours les masses en mouvement vers leur but par des voies telles que, pour de courts éléments de chemin parcouru, elle ait à fournir la moindre puissance. » Passons sur le principe de d'Alembert, sur le principe du moindre effort (Gauss), sur le principe d'Hamilton, qui dérivent du principe de la moindre action, formulé par Euler, puis par Lagrange, et retenons-en l'essentiel qui est : *la Nature parvient à toutes ses réalisations avec la plus grande économie de moyens énergétiques*. Plus on multiplie les observations, plus on se trouve obligé d'admettre ce principe comme une des grandes lois qui gouvernent l'Univers. L'étude des mouvements tourbillonnaires, mouvements qui jouent un rôle capital dans le déterminisme de la morphologie du vivant comme dans l'accomplissement de tous ses actes, nous en fournira une illustration particulièrement frappante.

La loi de moindre action met en évidence un *Principe du travail minimum*, complémentaire du Principe du Travail maximum de Berthelot, et non pas son opposé. Ils ne s'excluent pas l'un l'autre. Le premier exprime que la Nature, pour un résultat donné, y engage le minimum de travail possible ou, ce qui revient au même, obtient l'effet maximum auquel peut conduire une dépense énergétique limitée. Le second exprime que toute modification chimique s'accomplissant sous l'influence d'une énergie extérieure tend vers la formation du corps, ou du système de corps, qui développe le plus de chaleur; autrement dit : la dépense énergétique engagée fournit son maximum d'effet, la chaleur apparue étant l'exacte mesure de cet effet. C'est donc le même principe, déjà formulé, d'ailleurs, par Descartes.

CHAPITRE IV

RYTHMES

Continuité. Discontinuité. Intermittence. — C'est une grosse erreur, encore qu'elle soit communément répandue, de considérer la continuité et la discontinuité comme deux conceptions forcément antagonistes ou contradictoires. L'expérience, dès qu'elle est un peu poursuivie, nous montre que le continu et le discontinu sont toujours associés, soit dans l'espace, soit dans le temps et peuvent être, l'un vis-à-vis de l'autre, tantôt complémentaires, tantôt réciproques. Pour ne point obscurcir à plaisir une question si simple et si délicate en même temps, pour, d'autre part, ne point tomber dans le travers de ceux qui en ont amplement discuté sans beaucoup l'éclaircir, nous croyons nécessaire d'asseoir solidement notre base de départ en n'employant dans nos développements que des termes à sens rigoureusement défini.

Référons-nous à Littré : l'état *continu* est celui dans lequel les parties se tiennent sans solution, celui qui n'offre aucune interruption dans sa durée ou dans sa suite. Le *continuel* est ce qui dure sans interruption. Continu et continuel désignent donc l'un et l'autre une tenue suivie; mais ce qui est continu n'est pas divisé, alors que le continuel peut l'être et provenir d'une répétition plus ou moins régulière; il s'ensuit que des phénomènes périodiques, c'est-à-dire pouvant être hachés par des silences, sont susceptibles d'être continuels. Le terme *continuité*, en l'absence du mot *continualité*, confond la distinction établie entre continu et continuel, ce qui peut faire surgir des méprises dans certaines discussions relatives au sujet qui nous occupe en ce moment.

La *discontinuité* est le défaut, l'absence de continuité. Un phénomène est *discontinu* quand il offre des solutions de continuité.

Intermittent se dit d'un phénomène qui s'interrompt et reprend par intervalles, sans qu'il y ait obligatoirement une régularité de reproduction dans les alternances, alors que la *pulsation* se marque par des battements comportant une certaine périodicité. Un phénomène, enfin, est *périodique* lorsqu'il se reproduit à des temps marqués.

Ces définitions étant posées, nous sommes mieux à notre aise pour distinguer, dans l'observation des phénomènes naturels, où est la part du réel et où est celle des apparences que nous leur prêtons, tant par notre qualité d'observateurs examinant toutes choses sous un certain angle particulier, que par les modalités diverses de nos impressions sensorielles.

Il y a de fausses discontinuités et il y en a d'essentielles. Par exemple, un mouvement vibratoire ou un mouvement alternatif sinusoïdal sont faussement discontinus : s'il y a discontinuité dans le sens de l'action, il y a continuité dans l'action elle-même. Nous nous trouvons là face à un phénomène périodique continu. Par contre, une série de coups de marteau frappés sur une enclume marque une discontinuité d'action qui peut prendre l'aspect d'une continuité réelle si la fréquence des coups est suffisamment élevée pour que notre oreille perçoive un bruit musical; dans ce cas, c'est notre ouïe qui opère la fusion des chocs très rapprochés les uns des autres, mais qui restent cependant séparés. La persistance des impressions lumineuses nous offre de nombreux exemples d'une discontinuité profonde masquée par une continuité apparente. De même, à une échelle suffisante et avec des dispositifs permettant un pouvoir séparateur élevé, la continuité de la matière se révèle comme une illusion.

Une action continue et toujours semblable à elle-même ne peut engendrer qu'une simple déformation; une action discontinue variable dans le temps amorce des mouvements antagonistes. Une action intermittente ou pulsatoire engendre la vibration et l'onde, avec son cortège de lignes nodales ou équipotentielles et des lignes de force constituant son champ d'action. La pulsation régulière crée la vibration harmonique.

La continuité de l'action ou de l'excitation conduit à la discontinuité de la réaction, comme la discontinuité de l'action est nécessaire à la continuité de la réponse; l'analyse des processus

biologiques nous en fournit de nombreux exemples. Et, dans le domaine purement physique, comme l'a fait remarquer Tyndall, le frottement est toujours rythmé, qu'il s'agisse du frottement de l'archet sur la corde, du frottement du liquide contre l'ajutage par lequel il s'écoule, du frottement du projectile contre l'air qu'il traverse et de tous les autres cas possibles.

En résumé, continuité et discontinuité, homogénéité et hétérogénéité sont des apparences qui naissent et s'effacent en fonction, soit de notre poste d'observation, soit de l'échelle à laquelle nous faisons notre examen, c'est-à-dire en fonction de l'angle sous lequel, et de la distance dans l'espace et le temps, de laquelle nous regardons. L'association et la dissociation des éléments contigus constituent, en quelque sorte, les deux pôles de notre jugement sur toutes choses; l'éloignement dans l'espace rapetisse la matière, la condense, en soude les particules, lui donne de l'homogénéité et crée du continu spatial, comme l'éloignement dans le temps condense, estompe, relie les événements et crée du continu temporel. Comme le dit J. Chevalier : « L'analyse morcelle le continu, la synthèse lie le discontinu. » Mais comme rien n'existe que par comparaison, l'Univers n'existe que par sa discontinuité et son hétérogénéité; la continuité et l'homogénéité, toutes seules, c'est le néant.

Économie de l'intermittent. — Toutes nos constructions, toutes nos réalisations industrielles, ou presque, s'assoient sur un principe de continuité, dans la matière comme dans l'effort destiné à la modifier. La science mécanique, elle-même, telle qu'elle est enseignée, ne réserve aucune place marquante à l'étude des effets discontinus. Chose d'autant plus regrettable que la discontinuité joue un rôle prépondérant dans les actions naturelles, et ceci en étroite corrélation avec le Principe du moindre effort.

Descartes avait déjà fait cette remarque : « Je ne doute point qu'une infinité de petits coups de marteau puisse donner un meilleur effet qu'un seul grand. » Plus tard, mais sans y insister, Régal a dit que « la machine animale travaille (et produit tout, faut-il ajouter) par coups de collier, par impulsions successives, c'est-à-dire dans le mode de discontinuité ». Ce n'est pas seulement parce que cette manière de mettre son énergie un jeu

correspond à une possibilité de mobilisation rapide de réserves lentement accumulées, c'est aussi et surtout pour l'économie de moyens qu'elle représente.

Violle a fait observer, de son côté, « qu'un faible effort répété peut produire des déformations que n'occasionnerait pas une force infiniment supérieure appliquée en une seule fois ». Mais il ne s'est pas arrêté sur cette remarque pour en tirer l'enseignement qu'elle comporte.

A la suite de ses travaux sur la circulation du sang, Marey a mis ce fait en évidence : l'écoulement continu obtenu à l'extrémité d'un tuyau élastique suffisamment long et alimenté par une source intermittente est plus abondant que l'écoulement intermittent obtenu avec un tuyau à parois rigides. Cette observation nous place au cœur même de la question; mais poursuivons d'abord la suite de nos exemples.

Kearney a proposé l'établissement d'une voie de fer aérienne à profil ondulé, permettant au train de descendre par l'action de la pesanteur et de remonter la majeure partie de la rampe suivante grâce à l'élan acquis; on ne consomme ainsi une certaine force motrice que pour l'achèvement du parcours ascensionnel. Nous réduisons à son schéma un projet, par ailleurs très étudié quant au profil à adopter et aux dispositifs mécaniques à employer, qui fait apparaître une réduction importante des frais d'exploitation, par utilisation intermittente de l'énergie motrice.

Dussaud, en alimentant des ampoules électriques survoltées par des courants intermittents à fréquence convenable, a réalisé une « lumière froide » à consommation réduite d'énergie par rapport à l'intensité lumineuse obtenue. Il a ainsi montré qu'une tension plus élevée, employée d'une manière discontinue, conduit à des économies de puissance par rapport à une tension plus basse employée de manière continue. L'intermittent permet, en somme, de faire travailler la matière bien au-dessus des taux communément admis dans l'industrie, d'où résulte une économie appréciable de matériaux et d'énergie.

Ce qu'il y a de commun à tous les dispositifs que nous venons de passer en revue, c'est le fait de suivre, dans leur développement énergétique, un cycle à deux temps : le second temps,

passif et caractérisé par une accélération négative, correspond à une restitution partielle, et immédiatement utilisée — au lieu d'être dissipée en chaleur — de l'énergie absorbée par les résistances passives du système lors du premier temps, qui est actif et donne lieu à une accélération positive. C'est, en somme, une généralisation de l'application des systèmes-tampons, des amortisseurs ou des freins à récupération, mais en transférant leur principe dans le domaine de la mécanique moléculaire.

Toutes les réalisations mécaniques mises en jeu par les hommes ou par la Nature sont soumises à des déperditions dues à la présence obligée de résistances passives. Une partie plus ou moins importante du travail développé se trouve donc détournée de son but. Or, ces *fuites énergétiques* peuvent, ou se mettre en tension et se potentialiser, ou s'actualiser sous forme de mouvement et de force vive. Le premier cas est celui d'une déformation élastique (tuyau de Marey) ou celui d'une masse en rotation (volant de machine). Le second cas sera, par exemple, celui où se manifestent des frottements immédiatement transformés en chaleur. Ces deux cas ne sont pas équivalents et ils présentent une différence de qualité énergétique assez sensible : dans l'un, la récupération de la fraction de travail engagée dans la fuite est possible, et relativement aisée à mettre en œuvre; dans l'autre, elle ne l'est guère, car sa transformation immédiate en chaleur n'en facilite pas l'utilisation (1).

Retournons-nous vers le premier cas : l'énergie potentielle récupérable ne l'est que durant un certain délai, car la fin de toutes les énergies potentielles est de s'actualiser dans un laps de temps plus ou moins court. D'autre part, une certaine constance dans le travail accompli est nécessaire à un bon rendement;

(1) En bref, les efforts continus (tractions ou compressions correspondant à des translations, torsions correspondant à des rotations) ne peuvent donner lieu qu'à des déplacements, ou rectilignes (positifs ou négatifs), ou circulaires, ou hélicoïdaux (association des deux mouvements) des particules matérielles.

Les efforts discontinus sont des impulsions ou des chocs, communiquant des quantités de mouvement, avec déformations élastiques ou non.

Dans les efforts pseudo-continus, en réalité discontinus, il y a une fusion des variations, produite par un effet tampon. Ce dernier a pour cause, soit une inertie de la masse subissant l'effort (volant), soit une inertie de l'équipage mobile de l'appareil enregistreur, soit un effet statistique (cinétique des gaz).

Ainsi que nous le verrons, le vivant établit un pont entre continu et discontinu. Il assure la continuité de son existence individuelle et de sa forme, en canalisant à son profit les efforts discontinus imposés par le milieu où il vit.

cette condition exige que les oscillations entretenues, de part et d'autre d'un équilibre idéal, par l'alternativité du cycle à deux temps, soient fusionnées dans la meilleure mesure possible. Ainsi apparaît l'existence d'une fréquence optimum relative à chaque problème particulier, et permettant à la discontinuité d'action de donner l'impression d'une continuité de résultat.

Reprenons l'expérience de Marey : le tuyau de caoutchouc se dilate sous la pression correspondant à l'introduction du liquide; cette déformation élastique tend vers un équilibre, et le travail qui l'a provoquée est restitué, aidant à la progression du liquide lorsque la pression cesse et que le tuyau reprend son diamètre primitif. Le travail auquel est soumis le tube de caoutchouc est donc récupéré. En alimentation continue, le travail de déformation est constamment positif, l'action sur les parois du tube est entretenue sans discontinuité et entraîne, à plus ou moins brève échéance, sa déformation permanente.

D'autres raisons peuvent imposer le mode discontinu dans la distribution de l'énergie : lorsque le travail accompli accumule des déchets, des silences ou des intervalles de repos sont nécessaires pour éliminer ces déchets ou les détruire. Ils sont nécessaires aussi lorsque le travail entraîne des modifications du milieu où il s'accomplit, de telle sorte que ces modifications tendent à transformer immédiatement le travail en chaleur : la polarisation diélectrique rentre dans ce cas.

Si nous nous tournons vers les forces susceptibles de produire les différents travaux naturels, nous pouvons les classer en forces à action discontinue et forces à action continue. La première classe comprend : 1^o la force explosive unique, ou impulsion; 2^o les forces explosives répétitives. L'explosion unique correspond à un quantum d'énergie subitement libérée, dont les effets croissent, atteignent rapidement un maximum, décroissent plus lentement, et finalement, s'éteignent. Les forces répétitives constituent une énergie rythmée, une sorte de martelage dont les effets oscillent autour d'une valeur d'équilibre jamais réalisée. Les forces continues sont également de deux classes : les forces gradatives, semblables à une pression s'exerçant continuellement et entraînant une déformation; les forces alternantes, qui engendrent des vibrations élastiques. Il convient

de remarquer que ces distinctions touchent plutôt à l'apparence des choses qu'à leur réalité : il semble bien que la force explosive soit seule existante et que les autres naissent des différents modes possibles pour l'assemblage de forces explosives séparées. Une série de forces explosives se succédant à intervalles plus ou moins réguliers donne une force répétitive; que la fréquence de cette série périodique devienne très élevée, nous aurons une force pratiquement continue et gradative. Qu'une force répétitive s'exerce *en résonance* sur un dispositif récepteur et des vibrations de celui-ci seront déclenchées et entretenues; que des forces répétitives exercent simultanément et parallèlement leur action — comme le suppose la théorie cinétique des gaz — et elles déterminent une pression continue sur leur récepteur. On peut donc supposer sans trop d'in vraisemblance que la notion d'intermittence fonctionnelle dans le travail est susceptible de trouver un complément dans la notion d'intermittence « congénitale » de la force.

Oscillations. Vibrations. Résonances. Amortissement. Relaxation. — L'étude des phénomènes pulsatoires, si importants par leur rôle chez le vivant, se calque directement sur celle des phénomènes vibratoires. De ces derniers, nous n'avons rien à dire qui ne figure dans les traités spéciaux. Tout au plus, devons-nous signaler que, des oscillations entretenues, du mouvement vibratoire amorti et du mouvement apériodique, c'est ce dernier qui domine, de loin, les mouvements réactionnels propres à la vie. Nous signalons également que la discussion de l'équation différentielle :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2a \frac{dx}{dt} + b^2x = 0$$

qui est celle du mouvement vibratoire amorti d'un point matériel et celle, également, d'un très grand nombre de phénomènes mécaniques et physiques, présente un intérêt capital pour le biologiste. Nous lui avons consacré une étude spéciale (chap. II, p. 7). Nous n'avons donc pas à nous y arrêter à nouveau pour le moment.

La composition des mouvements vibratoires, étudiée par Lissajous, fournit des tracés particulièrement intéressants. La méthode de Lissajous est, en quelque sorte, dans l'ordre physique,

ce qu'est le théorème de Fourier dans l'ordre mathématique : l'une et l'autre nous renseignent sur les composantes d'un mouvement sinusoïdal dont nous connaissons la résultante. Nous allons y revenir.

Des phénomènes de résonance, nous rappellerons une propriété curieuse qu'il est utile de ne pas perdre de vue. On sait que tout corps absorbe les vibrations qu'il peut lui-même effectuer. Chaque corps possède ainsi sa période propre d'oscillations. Or, lorsque deux pendules ont des périodes propres très voisines l'une de l'autre, ils agissent l'un sur l'autre et prennent une même durée moyenne d'oscillation; il en résulte que, pour qu'il y ait synchronisation (résonance), il suffit que la période propre de l'oscillateur soit sensiblement celle de l'excitateur. Ainsi apparaît une *tolérance* naturelle susceptible d'être augmentée par un amortissement rapide du récepteur; on arrive de la sorte à synchroniser deux périodes très différentes.

Nous attribuons une importance toute particulière aux phénomènes de résonance chez le vivant. Aussi, reviendrons-nous plus loin sur ce sujet, d'abord pour montrer l'assimilation possible entre condensateur shunté et vibreur, ensuite pour mettre en évidence la pluralité des phénomènes de résonance dans l'organisme.

Pour le reste, les mouvements vibratoires ne constituant qu'un cas particulier des mouvements tourbillonnaires, nous pensons qu'il vaut mieux poursuivre l'étude de ces derniers et aborder le problème dans sa plus grande généralité d'expression.

Les mouvements vibratoires harmoniques sont représentés par des oscillations sinusoïdales simples. C'est là un cas théorique qu'on rencontre assez rarement dans les phénomènes naturels, où se manifestent des lois plus complexes conduisant à des oscillations périodiques d'allure moins régulière. On sait qu'il est possible d'analyser les courbes sinusoïdales complexes par application du Théorème de Fourier, qui permet de développer une fonction périodique en une somme de sinusoïdes de fréquences croissantes. Dans certains cas, en particulier lorsque le nombre des harmoniques présents est relativement élevé, la convergence de la série de Fourier est très lente et l'on se trouve conduit, pour en déterminer tous les termes, à des calculs laborieux. Aussi,

certain auteurs ont-ils proposé l'emploi de moyens physiques permettant d'éviter ces calculs.

Une contribution importante a été apportée à cette question par Van der Pol avec son étude des oscillations de relaxation. Il ne semble guère possible d'aborder avec fruit l'étude de certains phénomènes biologiques sans une certaine connaissance de cette notion d'acquisition récente.

CHAPITRE V

MOUVEMENTS TOURBILLONNAIRES

Brachystochrones et Tourbillons. — L'aperçu sommaire que nous allons donner de la question des tourbillons va nous fournir une illustration particulièrement frappante de ce fait, précédemment signalé ici, que la science moderne s'est fixée provisoirement sur certaines lignes, mais aurait pu, tout aussi bien, s'établir sur des positions différentes.

Partant d'une observation banale entre toutes — celle des remous apparus dans un cours d'eau rencontrant un obstacle — Descartes, en un éclair de génie, a imaginé une cosmogonie tourbillonnaire d'une objectivité saisissante. Un demi-siècle plus tard, Newton, qui avait certainement puisé dans les écrits de son prédécesseur l'aliment de ses premières réflexions, mais qui semblait, par une de ces faiblesses qui n'échappent pas aux plus grands hommes, légèrement impatient de la gloire conquise par Descartes, prononça dans ses *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle* une condamnation du système des tourbillons. Voltaire, que rien ne préparait à une semblable besogne, si ce n'est son goût de démolisseur vis-à-vis des grandes œuvres françaises, se posa en champion des théories newtonniennes. Deux siècles ont passé et Descartes ne s'est pas encore relevé du discrédit dans lequel est tombée sa théorie.

Pratiquant le conseil que nous avons donné au début de ce livre, nous sommes retournés aux auteurs. Les deux cents ans qui se sont écoulés rabaisent singulièrement la valeur de la réfutation de Newton et relèvent d'autant celle de la théorie de Descartes. Certes, les vues sur l'attraction universelle ont apporté avec elles l'explication d'un nombre imposant de faits, depuis l'aplatissement polaire du globe terrestre et la production

des marées jusqu'à la précession luni-solaire et aux perturbations des mouvements lunaires. Mais, à y regarder de près, elle ne s'attaque qu'à des faits d'importance secondaire par rapport à ceux auxquels Descartes fait allusion. Là, d'ailleurs, n'est pas l'essentiel. Comme l'a fait remarquer H. Faye, « par le seul fait d'avoir repoussé les tourbillons de Descartes, Newton s'est trouvé arrêté net devant la constitution d'origine éminemment giratoire du système du monde ». Comment s'en est-il tiré? Piteusement... Il n'y a pas d'autre mot à employer quand on examine le texte à la lueur des connaissances actuelles : « Tous ces mouvements si réguliers (rotation des planètes autour du soleil), écrit-il, n'ont point de cause mécanique... Cet admirable arrangement du Soleil, des planètes et des comètes ne peut être que l'ouvrage d'un être tout-puissant et intelligent... De plus, on voit que celui qui a arrangé cet univers a mis les étoiles fixes à une distance immense les unes des autres, de peur que ces globes ne tombassent les uns sur les autres par la force de leur gravité. » Laplace, à propos de ces affirmations, remarque avec juste raison : « Mais cet arrangement des planètes ne peut-il pas être lui-même un effet des lois du mouvement? »

E. Belot, le fondateur de la Cosmogonie tourbillonnaire moderne (qui prouve son excellence par le fait qu'elle a permis à son auteur de prévoir, neuf ans avant sa découverte en 1920, l'existence de la planète Hidalgo, de la famille de Saturne), estime avec justesse que « la force de la théorie de Descartes est dans l'observation exacte d'un fait de la nature ». Tout est là, en effet : ne point perdre contact avec les réalités.

Lorsque la géométrie nous fournit la démonstration de cet énoncé : « La ligne droite est le plus court chemin d'un point à un autre », elle ne s'inquiète que de la longueur du chemin et peu lui importe la nature de ce chemin. L'erreur commence dès qu'on veut transposer de toutes pièces, pour l'appliquer aux réalités de la vie courante, ce théorème dans le domaine de la science mécanique; on généralise son emploi, alors que sa portée est restreinte.

Galilée semble être le premier savant qui s'en soit avisé. A lui, revient l'honneur d'avoir posé un problème dont la solution géométrique a été trouvée par J. Bernoulli en 1696 et découverte

à nouveau par Newton l'année suivante. Voici le texte de la colle posée par J. Bernoulli aux savants de son époque : *Deux points étant donnés sur une ligne droite inclinée, quelle route faut-il tracer à un corps pesant pour qu'il arrive dans le temps le plus court du point le plus haut jusqu'au plus bas? CE N'EST PAS LA LIGNE DROITE.* Ainsi, l'auteur avait la charité d'aviser les concurrents qu'il leur fallait éviter l'écueil de la facilité et ne pas considérer la ligne de plus grande pente comme le meilleur trajet. Newton adressa anonymement cette réponse laconique : « La courbe dont il s'agit est une cycloïde qui passe par les deux points donnés. » Bernoulli ne s'y trompa pas : il reconnut immédiatement dans la réponse le génie du savant anglais.

La démonstration géométrique de Bernoulli, dont on trouvera un succédané dans la plupart des anciens ouvrages de Mécanique rationnelle, est un peu laborieuse et nous croyons inutile de la reproduire. Le calcul des variations en apporte une solution plus élégante; nous la laisserons également de côté. Il est plus approprié au but de notre ouvrage de montrer que de démontrer, et de faire saisir objectivement le motif pour lequel le meilleur trajet n'est pas, dynamiquement, la ligne droite : le mobile est mû par la pesanteur; s'il descend de A vers B en suivant la droite qui joint ces deux points, il arrivera sûrement en B, mais il y sera poussé par une force motrice réduite, qui est la composante de la pesanteur dans la direction AB; si le mobile tombe en chute libre à partir du point A, il profitera de l'accélération totale de la pesanteur, mais il ne pourra qu'arriver au niveau de B, sans joindre ce point qui n'est pas sur la verticale de A. On conçoit donc aisément qu'il doit exister une trajectoire optimum permettant à la fois au mobile d'être sous l'action de la plus grande accélération possible au démarrage, compatible avec la nécessité d'atteindre son but. Il lui faut, pour cela, suivre à chaque instant la résultante de deux forces dont la première, la pesanteur, est verticale, et dont la seconde, horizontale, assure à chaque instant la dérive nécessaire vers le point B. Si l'on exprime algébriquement ces conditions par application du théorème de Coriolis sur les accélérations, et si l'on intègre en remarquant que le mobile part du repos au temps $t + 0$, on obtient l'équation d'une cycloïde.

La cycloïde est donc la trajectoire correspondant à la plus

vite descente du mobile de A en B; c'est une *brachystochrone*. Or, quel que soit le chemin parcouru par le mobile entre son point de départ et son point d'arrivée, ceux-ci étant fixes, le travail accompli par la pesanteur reste invariable : c'est celui qui provient de la différence de hauteur, ou de niveau, existant entre A et B. Si nous voulons bien nous souvenir de la définition de la puissance — travail ramené à l'unité de temps — nous en déduisons que la puissance mise en jeu est d'autant plus grande que le travail a eu lieu avec plus de rapidité. A travail égal, la brachystochrone est donc *la ligne de plus grande puissance*, ce qui montre son intérêt au point de vue énergétique. Il est, d'autre part, évident que si nous retournons le problème, la même trajectoire est, par rapport à toutes autres, celle permettant d'accomplir le même travail avec le minimum de puissance : la cycloïde se trouve ainsi constituer une ligne d'économie énergétique, satisfaisant à ce principe de moindre action dont nous avons parlé et qui domine tous les phénomènes naturels; elle acquiert par là un intérêt biologique de premier ordre.

Ainsi, le problème posé par Jean Bernoulli relève d'un ordre de généralité beaucoup plus élevé que ne l'avait pensé son auteur; il possède, dans la dynamique du vivant, un intérêt considérablement plus puissant que ne le ferait supposer le simple rôle d'amusement où la mécanique le tient présentement confiné. R. Baron avait déjà fort justement remarqué : « Les notions dérivant de la science économique sont les bases de l'Énergétique et lui communiquent même un caractère transcendant fort curieux. » Vivre, c'est durer; durer, c'est épargner.

Le mouvement hélicoïdal. — Le théorème de Bernoulli est de géométrie plane. Transféré dans l'espace, il prend une signification plus remarquable encore. Établir l'équation la plus générale des brachystochrones est un problème assez difficile et dont la solution reste, pour le moment, d'une utilité fort contestable. Par contre, si l'on restreint le problème au cas d'une surface à double courbure, ne comportant que des éléments tous homologues entre eux dans leur génération, la solution se simplifie dans une appréciable mesure; encore une fois, nous allons le montrer au lieu de le démontrer; ainsi gagnerons-nous du temps et de la clarté dans notre exposé.

On sait qu'en chaque point M d'une surface, sauf les points singuliers, passent deux lignes de courbures perpendiculaires entre elles; ces lignes de courbure ont chacune un élément commun avec une des sections principales. On peut tracer sur une surface deux systèmes de lignes de courbure, la divisant en quadrilatères curvilignes ayant leurs angles droits. Les lignes de courbure ont respectivement, en chaque point, la direction qui correspond au maximum et au minimum de courbure en ce point. Autrement dit, les génératrices constituent un premier système de lignes de courbure, alors que les trajectoires orthogonales aux génératrices constituent le second système. Sur les surfaces de révolution, telles que la sphère, le tore, l'hyperboloïde, le cylindre, etc., les méridiens forment le premier système, et les parallèles, le second. Supposons une telle surface, sur laquelle un mobile est assujéti à se rendre de A en B. Traçons le réseau des lignes de courbure relatives à chacun de ces points et à un point intermédiaire B, puis projetons sur un plan très voisin, tel que le plan osculateur en b; nous obtenons la figure 8 (2) où

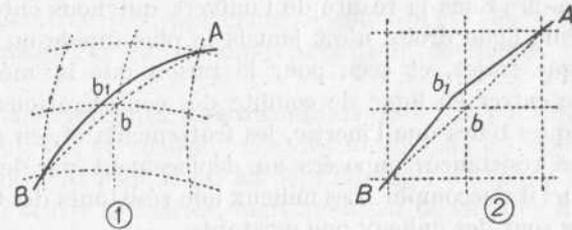


Fig. 8.

nous voyons que la diagonale AbB est plus courte que toute autre ligne, Ab_1B , par exemple, ayant mêmes extrémités. Remontons sur la surface courbe : le trajet AbB , curviligne et brachystochrone, n'est autre que la courbe attaquant tous les méridiens, ou, ce qui revient au même, tous les parallèles, sous un angle constant; c'est donc une hélice, selon la définition générale que nous en avons donnée : sur le cylindre, la trajectoire est une hélice proprement dite; sur le cône, c'est une spirale; sur la sphère, c'est une loxodromie, etc. En résumé : *la trajectoire de plus grande vitesse ou de plus faible dépense énergétique est la ligne tracée sur la surface en question, et qui joint les points de départ*

et d'arrivée en attaquant toujours sous le même angle chacun des deux réseaux orthogonaux des courbes enveloppes de la surface.

Le problème se pose identiquement de la même manière si, au lieu de fixer un point de départ et un point d'arrivée, comme l'a fait Bernoulli, et comme nous venons de le faire nous-même en généralisant son énoncé, nous nous plaçons dans le cas d'un mobile animé, à la fois, d'un mouvement relatif et d'un mouvement d'entraînement : les vecteurs représentatifs des forces en jeu pourront être décomposés en leurs composantes selon les directions respectives des méridiens et des parallèles; nous serons alors ramenés à un cas analogue au précédent. Le mouvement relatif, en l'espèce, est le mouvement de translation du mobile; le mouvement d'entraînement est celui qui impose une dérive à la translation, effet perturbateur dû à la présence de certaines résistances inhérentes au milieu à parcourir.

En résumé, si la ligne droite reste, et restera toujours, au sens strictement géométrique, le plus court chemin d'un point à un autre, il n'en est pas moins vrai que, dynamiquement — c'est-à-dire dans la réalité de l'univers qui nous entoure — cette même ligne droite n'est jamais le plus rapide ou le plus économique trajet, et ceci, pour la raison que la mécanique doit faire entrer en ligne de compte des considérations supra-géométriques telles que l'inertie, les frottements et, en général, toutes les résistances opposées au déplacement par le milieu dans lequel il s'accomplit. Les milieux non résistants des théories classiques sont des milieux non existants.

L'intérêt qui s'attache à l'étude des brachystochrones et des trajectoires hélicoïdales dérive du fait que, dans leurs mouvements naturels, les particules matérielles sont astreintes à suivre ces trajectoires; qu'un obstacle les en empêche et les contraigne à suivre une autre direction, elles s'arrêtent aussitôt. La ligne droite est rapidement mortelle pour le phénomène, l'hélice est la condition de sa durée.

Le problème que nous venons d'aborder est protéiforme et l'on peut encore lui donner un autre aspect. Lorsque nous avons précédemment supposé un mobile astreint à se déplacer sur une surface déterminée, cette suppression d'un degré de liberté correspond implicitement à l'introduction, dans le problème,

d'une force d'adhérence normale, à tout instant, à la surface parcourue et obligeant le mobile à s'y maintenir, c'est-à-dire quelque chose d'analogue à la pesanteur s'exerçant à la surface de la terre. Or, toutes les forces antagonistes qui viennent entraver la marche du mobile peuvent, en dernière analyse, se ramener à une seule force directement opposée à la force mouvante, et à un couple; le mobile obéit donc à une double sollicitation : celle d'une force mouvante apparente, représentée par la différence entre la force mouvante appliquée et la résultante des forces antagonistes, et celle du couple; la première assure sa translation, et la seconde sa rotation sur lui-même; d'où résulte obligatoirement un mouvement composé hélicoïde. Cette hélice enveloppe une surface dont la forme dépend de la position du bras de levier du couple par rapport à la direction de la force mouvante ou, si l'on veut, de la direction de l'axe instantané de rotation par rapport à celle de la translation à chaque instant. Ceci nous permet d'apprécier le caractère de généralité absolue s'attachant au principe du mouvement hélicoïdal des particules matérielles engagées dans un processus naturel (1). Et comme nous allons montrer, ce mouvement hélicoïdal n'est rien d'autre que celui appelé, par ailleurs, mouvement tourbillonnaire.

Des mouvements tourbillonnaires. — Il y a des théories qui n'ont pas de chance; celle des tourbillons est dans ce cas, non seulement pour la raison déjà dite de l'anathème lancé par Newton contre Descartes, mais aussi par le fait que mathématiciens et physiciens n'ont fait aucun effort pour s'accorder sur une théorie cohérente et objective des phénomènes tourbillonnaires. Les mathématiciens nagent dans l'irréel en considérant des mouvements tourbillonnaires qui se développent dans un fluide parfait, ce qui est une pure antinomie; il n'y a pas de tourbillon pouvant prendre naissance dans un milieu dénué de résistances passives, c'est-à-dire dans le vide absolu. Les physiciens,

(1) Depuis la publication de notre 1^{re} édition, et dans une communication présentée récemment à la *Société française de Physique* (21 mars 1947), M. F. Ehrenhaft a montré que le mouvement général de la matière possédant six degrés de liberté, était hélicoïdal. Les microphotographies prouvent que les particules se déplaçant, dans la direction d'un champ magnétique constant dans un sens ou dans l'autre, décrivent des trajectoires hélicoïdales à spires très régulièrement espacées. Le fait que de tels mouvements sont observables dans des faisceaux de lumière homogène a déjà été signalé par le même auteur (photophorèse longitudinale et transversale).

de leur côté, ont oublié d'allumer leur lanterne : ils nous montrent comment se créent certains mouvements tourbillonnaires, mais ils omettent de formuler les lois générales qui président à cette création ; tant est qu'ils font défiler sous nos yeux des centaines d'expériences aussi amusantes que peu instructives, car il nous manque le fil conducteur susceptible de les relier les unes aux autres.

Ouvrez n'importe quel traité des tourbillons et vous n'y trouverez jamais exprimée cette simple vérité, clef de tout l'intérêt que comporte leur étude : *les trajets tourbillonnaires sont des trajets de moindre résistance et, par là, ils conditionnent les possibilités de durée d'un phénomène.* Si on disait cela, la vraie, la seule, l'unique théorie des tourbillons s'échafauderait d'elle-même en moins d'un quart de siècle et la science, surtout dans ses applications, ferait un bond prodigieux.

Pour les mathématiciens, il y a tourbillon si, par application du théorème de Stokes, il n'existe pas de potentiel des vitesses. En clair, cela revient à désigner par tourbillon toute portion d'un fluide où il y a rotation, par opposition avec tout le reste du milieu, où il n'y a pas rotation. Ces tourbillons sont indestructibles (Cauchy), infiniment déliés (Green), sans frottement extérieur. A chaque instant, un élément de fluide tourne, avec une certaine vitesse, autour d'un axe passant par cet élément ; une ligne tangente en chacun de ses points à l'axe instantané de rotation correspondant à ce point est une *ligne de tourbillon*. Maxwell a montré l'analogie étroite existant entre un champ tourbillonnaire et un champ électromagnétique ; tous deux se représentent par les mêmes équations différentielles, ce qui permet de ramener les problèmes d'hydrodynamique à des problèmes d'électrodynamique, ou réciproquement : les lignes de tourbillon sont des lignes de force ou de courant électrique, les tubes de tourbillon sont des conducteurs parcourus par des courants, et le potentiel des forces magnétiques est équivalent au potentiel des vitesses. Le malheur est que cette mine n'a pas été exploitée.

Les physiciens étudient les tourbillons naturels et les tourbillons provoqués. Pour avoir regardé des feuilles mortes tournoyer dans un remous d'air à l'approche de l'orage, pour avoir

suivi les évolutions de la mousse qui se forme quand on tourne la cuiller dans une tasse de café, pour avoir contemplé les trous d'air qui vrillent l'eau butant sur une pile de pont, chacun sait peu ou prou ce qu'est un tourbillon. Mais, comme le dit Weyher — qui a fait sur cette question une étude expérimentale vers laquelle on doit toujours retourner — « un tourbillon n'est pas la simple agitation de l'air ou de l'eau, mais bien une portion d'un fluide quelconque qui tourne autour d'un axe au sein même du fluide considéré ». Les surfaces-enveloppes d'un phénomène tourbillonnaire revêtent donc une morphologie propre et délimitent un volume plus ou moins bien déterminé selon que le tourbillon est localisé ou diffus. D'abord diffus et décelé par une légère dépression au centre du mouvement giratoire qui apparaît à la surface du liquide où il naît, le tourbillon se localise, se stabilise cinématiquement en laissant apparaître un entonnoir qui s'effile vers la profondeur, à la place même où se manifestait la dépression.

Nous ne nous arrêtons pas à la distinction établie par les physiciens entre tourbillons fermés et tourbillons ouverts. Les premiers sont fixes et, comme ceux des mathématiciens, auraient une durée illimitée s'il n'y avait des frottements pour en abrégier grandement l'existence ; les seconds ont un axe rectiligne et sont, ou fixes et persistent autant que se maintient la cause de leur création, ou mobiles et se propagent dans le milieu où ils sont nés, faisant entrer à tout instant dans leur giration de nouvelles particules du milieu jusqu'à y dissiper toute l'énergie qu'ils enferment. En fait, il n'y a là que cas particuliers d'un phénomène général, comportant une symétrie dans le premier cas, une dissymétrie dans le second. Nous en retiendrons que les tourbillons apparaissent comme des phénomènes limités dans le temps et dans l'espace : ils naissent, grandissent, passent par une période d'état, déclinent et disparaissent.

Pour qu'un tourbillon puisse se créer, deux conditions sont nécessaires : un milieu adéquat, obligatoirement fluide (gazeux, liquide ou solide finement divisé) et une certaine hétérogénéité de ce milieu. En fait, tous les tourbillons naissent d'une opposition agissant tangentiellement sur une masse en translation et lui imprimant, de ce fait, un mouvement giratoire ; les tour-

billons proviennent donc de l'action conjuguée d'une force centrale, qui a présidé à la translation, et d'un couple engendrant la rotation; en d'autres termes, *ils sont déterminés par une dissymétrie* et, dans leur phase initiale, ils se manifestent par un enroulement se produisant dans la masse fluide. Le tourbillon, comme on le voit, n'est donc pas une création *ex nihilo*: il lui faut un *amorçage*, une semence sous forme d'un moment cinétique fourni par le fluide.

La composition des deux mouvements, translation et giration, caractérisant le tourbillon, a pour résultantes des lignes de courant fermées hélicoïdales, se développant autour d'une ligne centrale et constituant des *trajectoires brachystochrones*. Si nous considérons un tourbillon descendant localisé, par exemple l'entonnoir qui se forme dans une cuvette se vidant par une bonde centrale, nous constatons que les particules en suspension dans l'eau se dirigent vers l'entonnoir où elles suivent une trajectoire hélicoïdale avant de disparaître: *le tourbillon se nourrit par sa bouche ouverte* (Bouasse).

Le tourbillon qui, en somme, représente une individualité dans la masse amorphe dont il s'est séparé pour prendre corps, ne peut en arriver là, remarquons-le, que pour la raison suivante: *l'ensemble structural de ses lignes de courant ou de tension lui communique la résistance s'opposant à sa déformation ou à sa destruction par le milieu ambiant*. Le tourbillon est donc une organisation de durée, ainsi que l'avaient montré les mathématiciens. Ce sont les vitesses rotationnelles et de translation qui

lui assurent cette rigidité, cette impénétrabilité et cette élasticité révélées par un grand nombre d'expériences diverses.

Mais voici qui est encore plus curieux: tous les tourbillons sont susceptibles d'engendrer d'autres tourbillons spécifiquement

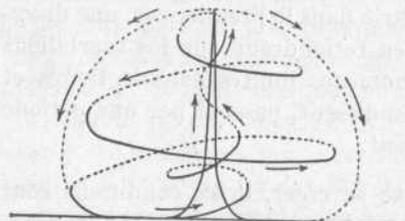


Fig. 9. — Tourbillon de Weyher.

semblables, mais plus petits, qui leur sont d'abord associés, puis deviennent indépendants. Il semble, en effet, que les tour-

billons soient astreints à évoluer entre certaines limites bien déterminées, dépendant des conditions de leur formation, de telle sorte que nous assistons tantôt à une conjonction de tourbillons séparés se formant en un individu unique, tantôt à une disjonction d'un tourbillon unique en plusieurs individualités. Si on analyse les conditions dans lesquelles se produit la conjonction, on constate que, par exemple, deux tourbillons parallèles et de sens inverse s'engrènent, en quelque sorte, l'un dans l'autre, chacun tendant ainsi à maintenir le mouvement rotationnel de l'autre, tandis que, corrélativement, le frottement sur le milieu ambiant se trouve diminué; de la sorte est assurée la persistance du phénomène et la conjonction correspond à un entretien, une véritable *nutrition* tourbillonnaire. En contre-partie, le volume d'un tourbillon ne semble pas susceptible de dépasser une certaine limite dépendant des conditions de sa formation et au-dessus de laquelle il récupère la cohésion nécessaire à la conservation de son existence en se fractionnant en tourbillons plus petits, acte comparable à la *fissiparité* biologique, ou reproduction par division.

Les tourbillons, enfin, qui sont capables d'agir, à distance, de proche en proche et par l'intermédiaire du fluide ambiant, épuisent leur énergie interne, perdent leur cohésion et se dispersent dans le milieu environnant: nés d'un frottement, ils meurent anéantis par les frottements.

Résumons-nous. Quoique non vivants, les tourbillons réunissent en eux la plupart des caractères généralement considérés comme spécifiques de l'organisation vitale: la dissymétrie du milieu constitue le germe d'où ils naissent; ils grandissent, s'entretiennent, durent en s'alimentant soit à partir de la substance du milieu où ils se développent, soit à partir de la substance de leurs semblables; durant leur période de croissance, ils affirment leur morphologie, ils prennent corps et acquièrent une sorte d'individualité les isolant de la masse ambiante; ils croissent jusqu'à un volume déterminé et spécifique des conditions de milieu, ils échappent à leur déchéance en se reproduisant par division; susceptibles de se mouvoir dans le milieu qui les entoure, ils meurent, finalement, par extinction de leur énergie naturelle. Nés en vertu du principe de moindre effort, ils vivent sous le

déterminisme d'un principe de durée, et cette permanence dérive de l'action conservatrice du mouvement rotationnel, la translation présidant au déroulement de leur cycle évolutif. Au *to be* or *not to be* shakespearien, le tourbillon nous fournit une réponse sur le plan physique : ou contourner l'obstacle en roulant sur lui, obéir au mouvement directionnel qu'il imprime à la masse, utiliser l'énergie potentialisée par les résistances du milieu et *durer*, ou bien aborder l'obstacle de front, se briser sur lui et, dans l'instant même où tout allait naître, *cesser d'exister*.

Ces caractères distinctifs du tourbillon sont si proches de ceux qu'on reconnaît au vivant qu'il est impossible de ne point leur soupçonner un rôle éminent dans la constitution des êtres organisés. Nous ne tarderons pas à montrer que la trace d'une telle activité s'inscrit dans tous les actes physiologiques et dans toute la morphologie du vivant, chez qui l'*empreinte tourbillonnaire* se révèle dans l'entier de son organisation comme de ses gestes.

Mouvements libres. Mouvements contraints. — Nous venons de voir que, dans la réalité du monde qui nous entoure, aucun mouvement matériel ne peut s'accomplir sans que se dresse contre lui l'opposition des résistances — obstacles, chocs, frottements — qui viennent modifier les trajectoires des corps en translation et les obligent à composer leur mouvement primitif avec des rotations s'accomplissant autour de certains centres ou de certains axes déterminés par la valeur et la position des résistances. De telle sorte que tout mouvement *naturel*, tout mouvement libre prend obligatoirement la forme hélicoïdale ou tourbillonnaire. Ces lignes de courant constituent des chemins d'élection et expriment la loi suprême d'un monde où tout n'existe que par le tourbillon, où rien ne vit que par lui et pour lui.

Le mouvement tourbillonnaire proprement dit s'accomplit dans les trois dimensions de l'espace et comporte donc trois degrés de liberté. A tout instant, une particule engagée dans le mouvement est animée : 1° d'un mouvement de translation, parallèle aux génératrices de la surface-enveloppe du volume du tourbillon; 2° d'un mouvement de giration dont la directrice est constamment tangente au parallèle de la surface-enveloppe passant par le point considéré; cette giration crée une

force centrifuge normale au parallèle. Le mouvement hélicoïdal de la particule comporte donc une composante axiale ou méridienne, relative à la translation et une composante transversale ou équatoriale, relative à la rotation.

Abandonnons un degré de liberté, en sacrifiant une des trois dimensions. Pour cela, nous n'avons qu'à observer la projection plane du mouvement tridimensionnel ou tourbillonnaire général. Deux cas principaux sont à examiner : 1° projection sur un plan parallèle à l'axe, ou ligne des pôles, du tourbillon; 2° projection sur le plan de base ou sur le plan équatorial du tourbillon. Dans le premier cas, la trajectoire hélicoïde se projette en trajectoire sinusoïdale simple ou complexe, et dans le second, elle se projette en trajectoire circulaire ou elliptique, conique, hyperbolique, sphérique, etc. Dans le cas particulier de la rotation sans translation rentre le mouvement girostatique. Des plans de projection obliques nous fourniraient d'autres formes, par exemple cycloïdales, avec tous les rapports possibles entre vitesse de translation et vitesse de rotation. Étude remarquablement instructive du point de vue de la mécanique générale, mais que nous limiterons, dans nos développements ultérieurs relatifs à la morphologie, à quelques exemples typiques.

Abandonnons encore un degré de liberté, en considérant la seule projection linéaire du mouvement le plus général de la particule ou, ce qui est plus simple, du mouvement déjà projeté sur un plan. Il y a trois cas à considérer : 1° celui où nous projetons un trajet ouvert (sinusoïde, cycloïde, hyperbole, etc.) et dans ce cas, nous obtenons une trajectoire rectiligne à mouvement unidirectionnel et uniforme, ou périodique, ou accéléré, selon les courbes projetées; 2° celui où nous projetons un trajet fermé (circonférence, ellipse, lemniscate, courbe foliée, etc.) et dans ce cas nous obtenons une trajectoire rectiligne à mouvement alternatif; dans le cas particulier de la projection d'un mouvement circulaire sur un de ses diamètres, nous obtenons le *mouvement vibratoire harmonique*; 3° la spirale, courbe ouverte mais repassant périodiquement par zéro, représente un cas singulier : celui du *mouvement vibratoire amorti*.

Réciproquement, par extension et généralisation d'une expérience autrefois réalisée par Lissajous et appelée dans les traités

d'acoustique, on peut recomposer dans l'espace à deux dimensions d'abord, à trois dimensions, ensuite, tous les mouvements linéaires dont nous venons de parler et créer une véritable féerie tourbillonnaire dont l'intérêt est si puissant, pour le mécanicien comme

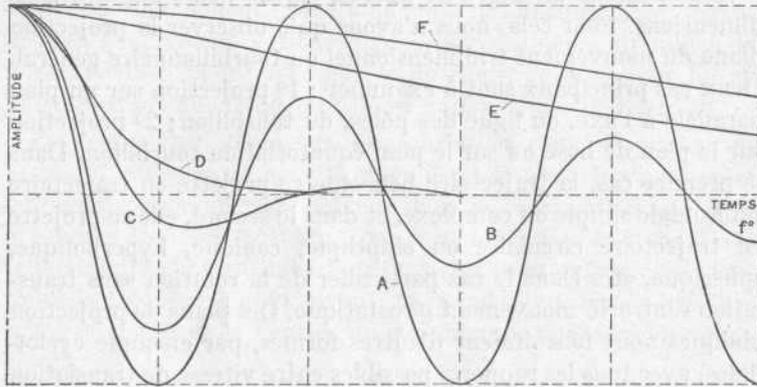


Fig. 10.

- A. Vibration harmonique ou oscillation pendulaire.
- B. Oscillation amortie.
- C. — très amortie.
- D. — totalement amortie.
- E. F. Retour asymptotique du mobile à sa position d'équilibre.

pour le biologiste, que nous lui consacrerons, un peu plus loin, l'étude qu'elle mérite.

Mais, dès à présent, nous apercevons qu'une caractéristique essentielle des mouvements tourbillonnaires est l'aisance inouïe avec laquelle s'accomplissent les transformations d'une ligne à une autre, d'une forme-type ou matricielle à mille formes dérivées. *Fille de la dissymétrie*, l'énergétique tourbillonnaire est *mère de la mutabilité*; ses tracés nous mènent vers une géométrie descriptive *mouvante* et peut-être même déjà *vivante*... C'est chose extrêmement frappante que cette étroite parenté entre tourbillons et vibrations. La représentation la plus simple est en ce mécanisme bien connu de tous sous l'appellation de *dispositif bielle-manivelle*, par lequel le mouvement rectiligne alternatif se transforme en mouvement circulaire, et inversement. Sous son nom anglais de *reciprocating system*, il est symbolique

de l'organisation énergétique de l'univers et des mutations incessantes du continu à l'alterné ou de l'alterné au continu, auxquelles nous font assister les phénomènes naturels s'accomplissant devant nous, et où la poussée sans relâche engendre le rythme, et le rythme la poussée sans relâche.

Dans un temps où, comme aujourd'hui, la physique n'a que trop tendance à se laisser déborder par la métaphysique et nous entraîne vers l'inquiétude cérébrale en nous obligeant à concevoir des espaces à $n+1$ dimensions, ou des mouvements susceptibles de naître dans le vide absolu, c'est un grand repos pour l'esprit qu'entrevoir l'essentielle simplicité des facteurs déterminants, alors que les phénomènes résultants semblent d'une inextricable complication.

Le gyrostat, tourbillon non émancipé. — La théorie du gyrostat ne relève pas de l'enseignement élémentaire de la mécanique; de ce fait, elle demeure assez peu connue. La propriété essentielle du gyrostat peut s'établir par l'analyse; il n'en reste pas moins qu'elle apparaît d'essence fort mystérieuse à ceux qui en font pour la première fois la constatation expérimentale. Cette propriété réside, comme on sait, dans le fait que le gyrostat résiste à tout effort exercé normalement à son axe de giration et tendant à le dévier dans un plan déterminé; la réponse à une telle pression se traduit par un mouvement de l'axe, non pas dans le sens auquel on pourrait s'attendre, mais dans un plan perpendiculaire. Autrement dit, l'axe de giration Ox tend à exécuter un mouvement circulaire autour de la droite AB parallèle à la force exercée sur lui et passant par le centre O de giration. Un tel mouvement porte le nom de précession. Il n'est pas si malaisé qu'on veut le faire croire de faire comprendre, en faisant appel à des notions élémentaires, la raison de ce paradoxal mouvement. Supposons (fig. 11) la masse du gyrostat constituée par un disque $ABCD$ tournant autour de l'axe xy et appliquons à cet axe un couple de renversement FF' tendant à le faire tour-

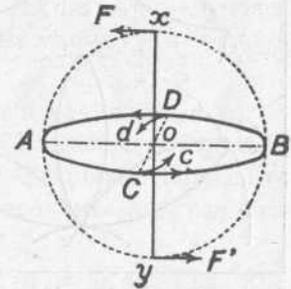


Fig. 11

ner autour de la droite CD. Les forces de giration qui s'exercent sur le disque aux points A et B sont tangentes en ces points à la circonférence ABCD et sont situés dans son plan; le couple de renversement n'a d'autre influence sur elles que de tendre à les déplacer parallèlement à elles-mêmes. Tout autre est le cas des points C et D, placés aux extrémités de l'axe du couple de renversement agissant sur xy ; en chacun de ces deux points, la force de giration subit une déviation que nous avons représentée par des flèches courbes c et d , à laquelle s'oppose l'inertie du système. Le disque a donc tendance à être entraîné en sens contraire, c'est-à-dire à tourner autour de son diamètre AB, dans le sens des aiguilles d'une montre, par rapport à un observateur placé en A.

Ayant compris le motif de la précession, il nous reste à dire

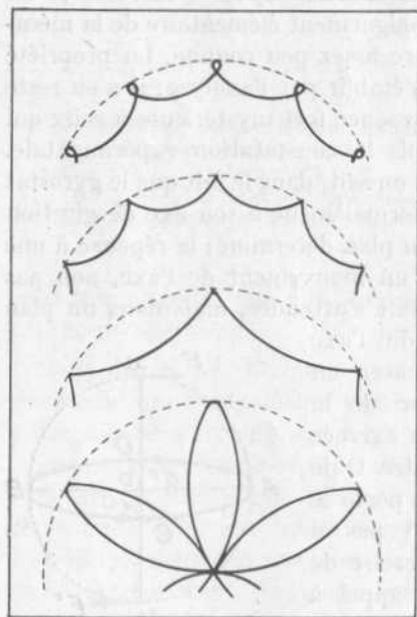


Fig. 12.

deux mots de son effet, qui est de soumettre chaque point de la périphérie du disque à un mouvement de translation circulaire autour du diamètre AB en même temps qu'il doit obéir à son mouvement de giration originel; la résultante est un mouvement tourbillonnaire, de nature hélicoïdale, mais donnant lieu à des trajectoires de figures fort variées (fig. 12) selon le rapport existant entre la vitesse du mouvement de nutation et celle du mouvement de giration. Ces formes présentent, nous le verrons, un réel intérêt pour le biologiste comme pour le physicien.

Les brèves explications que nous venons de donner nous montrent que le mouvement gyrostatique est un mouvement

tourbillonnaire virtuel qui s'actualise sous l'influence d'une résistance passive surajoutée et convenablement choisie.

Équilibrage dynamique. — La notion d'équilibrage dynamique des masses en rotation autour d'un axe, qui est connexe à celle de l'effet gyrostatique, est d'introduction relativement récente en mécanique. Elle n'a pris d'importance qu'à dater de l'époque où les grandes vitesses angulaires sont devenues d'un emploi courant avec les turbines à haute pression, les ventilateurs, les moteurs à explosions, les hélices d'aéroplanes. Cette notion est d'un intérêt primordial : une pièce en rotation rapide, si elle n'est pas dynamiquement équilibrée, porte en elle-même le germe de sa propre destruction, qui peut s'étendre à l'appareil tout entier comportant une telle pièce. Les forces d'inertie centrifuges développées dans un mouvement giratoire, et les réactions qu'elles entraînent sur les paliers, sont, en effet, proportionnelles au carré de la vitesse de rotation.

Les déformations élastiques et les vibrations engendrées par défaut d'équilibrage dynamique peuvent être aggravées dans leur effet par des phénomènes de résonance venant se communiquer au mécanisme tout entier. Ainsi, sur un transatlantique ou sur un avion, les vibrations du moteur ou de l'hélice peuvent, à une certaine vitesse de fonctionnement déterminant une certaine fréquence de ces vibrations, entrer en résonance avec la structure entière du navire ou de l'avion et rendre ceux-ci inhabitables pour leurs passagers, indépendamment des risques entraînés à leur suite par ces efforts parasites. Cette vitesse est une *vitesse critique*.

La notion d'équilibrage dynamique n'a pas encore droit de cité en physique, ni en biologie, et il faut hautement le regretter. Les phénomènes qu'elle est susceptible d'expliquer lumineusement sont assez nombreux et nous ne nous priverons pas d'en produire quelques exemples typiques.

Nous n'avons pas, ici, à nous étendre sur la question. Elle relève, d'ailleurs, presque exclusivement du calcul. Toutefois, nous ne pouvons passer sous silence ce fait que l'équilibrage dynamique ne doit pas être confondu avec le balourd ordinaire, ou défaut d'équilibrage statique. Dans ce dernier cas, il y a

simple défaut de symétrie qui peut être corrigé par l'adjonction ou l'enlèvement d'une certaine quantité de matière en un seul point, aisé à déterminer par des méthodes simples. Il suffit, en somme, de ramener sur son axe de rotation le centre de la pièce examinée. Cette dernière condition n'est pas suffisante pour

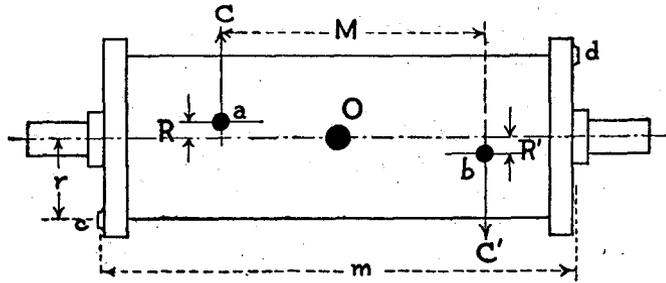


Fig. 13. — Corps équilibré statiquement mais non dynamiquement.

réaliser un équilibre dynamique correct, car le centre de gravité de l'ensemble de la pièce est une résultante d'une infinité de composantes relatives chacune à une section infiniment mince de la pièce, section pratiquée normalement à l'axe de rotation. Ces centres de gravité partiels peuvent se composer deux à deux, puis dans leur totalité, de telle sorte que la résultante finale au centre de gravité soit bien dans les conditions supprimant tout balourd, mais ils peuvent être placés de telle sorte que, pris individuellement, ils ne satisfassent pas à ladite condition.

On comprend dès lors pourquoi l'absence d'équilibre dynamique dans une pièce équilibrée statiquement est due à la présence de couples centrifuges agissant dans un plan axial, couples déterminés par les centres de gravité partiels s'équilibrant statiquement par groupes de deux. Ces couples comportent un couple résultant unique et celui-ci ne peut être éliminé que par l'action d'un autre couple centrifuge, de même valeur, mais de signe différent. Autrement dit, pour obtenir l'équilibre dynamique, lorsqu'il n'est pas réalisé, il faut, ou percer deux trous, ou ajouter deux poids en des points convenablement choisis, alors que l'action sur un seul point suffisait à assurer l'équilibre statique. Des machines spéciales permettent ce travail.

CHAPITRE VI

LA FÉERIE DES FORMES

Champs de forces. Spécificité des trajectoires. — Tout mouvement tourbillonnaire projeté sur un plan donne une image de champ de forces. Clausius, Green, Poisson nous ont dotés de l'outillage mathématique nécessaire pour tracer les *lignes de force* et les *lignes équipotentielles* par quoi se caractérise un champ. Les lignes de force, ce sont les axes des lignes tourbillonnaires parcourues par les particules obéissant à l'action du champ; les lignes équipotentielles qui sont, en tous leurs points, normales aux lignes de force, ou tangentes aux composantes circulaires du mouvement hélicoïdal, sont, en quelque sorte, des lignes de repos, puisque, sur elles, une particule ou une charge électrique se déplace sans effectuer ni dépenser aucun travail. Dans un champ gravifique, les lignes de force sont des *lignes de plus grande pente* et constituent les trajectoires suivies par les corps pondérables, alors que les lignes équipotentielles sont des *lignes de niveau* sur lesquelles aucun effort n'est, théoriquement, nécessaire pour transporter une particule d'un point à un autre.

Sans recourir au calcul, lequel n'est d'ailleurs praticable que dans des cas relativement simples, on peut obtenir des graphiques de lignes de force, véritables cartes d'état-major des champs tourbillonnaires, par l'emploi de méthodes purement physiques. Ces procédés, nous l'allons voir, possèdent un très grand intérêt. Passons en revue les faits; nous tâcherons ensuite d'en faire apparaître la loi directrice.

1. C'est Descartes qui, en imaginant l'expérience bien connue du « fantôme magnétique », a doté la physique de la première notion du champ de force. Deux siècles plus tard, on a montré le fantôme produit, dans un plan perpendiculaire à sa direction,

par un courant électrique circulant dans un conducteur rectiligne.

Par son ingénieuse expérience, Descartes a ouvert une voie à la Morphologie et montré que celle-ci naît d'une matérialisation de champs de forces.

2. Perfectionnant une expérience d'ordre électrochimique déjà réalisée par Nobili et par Becquerel, Guebhard a fait apparaître la possibilité d'obtenir, sans recourir au calcul et par un simple

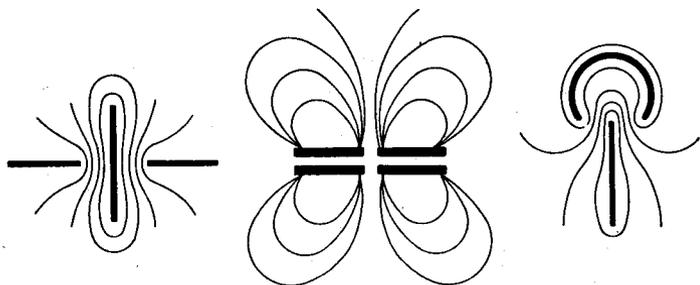


Fig. 14. — Expériences de Guebhard (les traits pleins représentent les formes et la disposition des électrodes, les traits fins représentent les dépôts électrolytiques rassemblés sur les lignes équipotentielles du champ de forces).

dépôt électrolytique, le diagramme des lignes équipotentielles fourni par la théorie de Kirchoff. Employant des électrodes polies, de formes diverses et immergées au voisinage immédiat

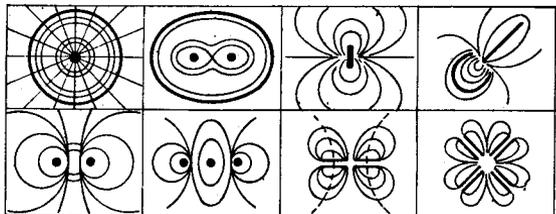


Fig. 15. — Expériences de Guebhard. Quelques autres figures obtenues en variant les formes et disposition des électrodes.

d'une plaque métallique isolée, plongée dans une solution potassique d'oxyde de plomb, Guebhard a obtenu un grand nombre de

figures, dont quelques-unes sont reproduites ici (fig. 14). Remarquons, sans y insister, que cette expérience est curieuse à plus d'un titre : ne constitue-t-elle pas une mise en évidence de la nature parfaitement discontinue des courants les plus apparemment continus que l'on connaisse, ceux fournis par les piles?

3. L'expérience précédente est la transposition, dans le domaine électrique, des célèbres réalisations de Chladni sur plaques vibrantes. Ce dernier semait du sable fin sur des plaques métalliques mises en vibrations au moyen d'un archet; le sable venait se rassembler sur les *lignes nodales*, ou lignes de repos de la plaque vibrante. Le point d'attaque de l'archet, les dimensions et la forme de la plaque constituaient les principaux facteurs de variation des images obtenues. Les physiciens qui ont repris ultérieurement les expériences de Chladni ont remarqué, sans d'ailleurs chercher à en tirer quelque conclusion, que les dessins produits présentaient, toutes choses égales d'ailleurs, des différences selon la nature des corps pulvérulents employés. Savart, répétant les expériences avec un mélange de sable pulvérulent et de poudre de lycopode, constata que cette dernière est animée d'un mouvement à peu près contraire à celui du sable dépoussiéré. Il ne donna aucune explication de ce fait extrêmement important, dont nous verrons la signification dans un instant.

4. Signalons rapidement que A. de Rochas a répété des expériences semblables avec un petit appareil appelé « eidophone » : une membrane recouvre la partie supérieure d'un verre à pied

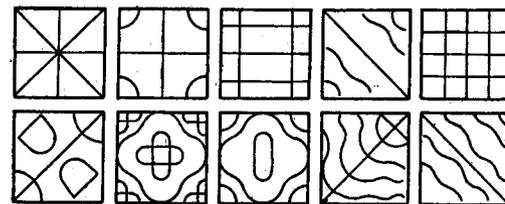


Fig. 16. — Expériences de Chladni.

dans lequel un tube acoustique fait converger des sons émanant d'instruments divers. Si l'on étend sur la membrane, soit un

corps pulvérulent, soit un liquide plus ou moins visqueux, les particules mobiles se déplacent et se groupent en faisant apparaître des figures variées. « Ce qui est le plus curieux, dit l'auteur, c'est leur tendance à reproduire les lignes caractéristiques des végétaux et des animaux inférieurs. »

5. Avec l'expérience des figures de Lichtenberg, nous retournons dans le domaine de l'électricité : on électrise un plateau de résine par frictions localisées, à l'aide d'un conducteur mis en communication avec une machine électrostatique; on saupoudre ensuite ce plateau avec de la fleur de soufre; celle-ci se dépose aux points électrisés en formant des figures différentes selon que les points ont été électrisés positivement ou négativement. Si la surface est électrisée, positivement en certains points, et négativement en d'autres, puis qu'on la saupoudre avec un mélange pulvérulent, homogène, de soufre et de minium, ce dernier se fixe sur les points négatifs en formations homogènes et circulaires, alors que le soufre se rassemble sur les points positifs en dessinant des rayons ou des ramifications. Nous voyons donc que, placées dans des champs électrostatiques, les différentes matières ne répondent pas d'une manière identique aux forces qui les sollicitent à se déplacer : les dessins apparus nous montrent que le minium s'est rassemblé sur les lignes équipotentielles du pôle négatif, alors que le soufre s'est fixé sur les lignes de force du positif. Ainsi se fait jour dans notre esprit une notion de *spécificité* de mouvement de la matière, par rapport au champ où elle est appelée à évoluer.

6. Dans son étude sur les mouvements tourbillonnaires, Weyher a été amené à constater que *chaque substance suivait un chemin d'élection qui lui était propre, sans que jamais sa trajectoire vint se mélanger ou se heurter à la trajectoire suivie par les autres substances* : « les poussières les plus fines ou les gaz les moins denses tournoient autour de l'axe du tourbillon sur les rayons les plus petits, *chaque espèce suivant toujours le même chemin*. Toutes les particules d'une même poussière ou d'un même gaz forment des spirales ou des veines distinctes de celles décrites par les autres matières. De la fumée légère, de la vapeur d'eau chaude, de la vapeur froide, des paillettes métalliques vont en s'écartant de plus en plus de l'axe du tourbillon, tandis qu'en

revenant extérieurement au point de départ, c'est l'inverse qui se produit : la matière la plus dense décrit des trajectoires plus voisines de la courbe équatoriale, ou de diamètre moyen; la matière la plus légère se meut en suivant les courbes de plus grand diamètre et, en même temps, les plus inclinées par rapport à l'axe. *Grosso modo* : la substance la plus matérielle parcourt un chemin sensiblement équatorial et la substance vaporeuse parcourt un chemin plutôt axial. Quant à l'air, il tournoie en s'engouffrant axialement, contourne le tourbillon et vient reprendre le cycle vibratoire » (fig. 17).

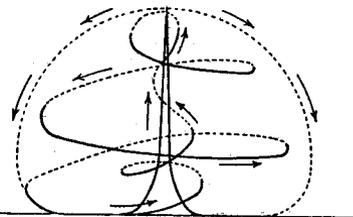


Fig. 17. — Tourbillon de Weyher.

Plus le tourbillon est rapide, plus les spires matérielles deviennent équatoriales, plus le courant gazeux devient axial. Il y a là une analogie avec la montée des côtes en zigzag : plus la pente est raide, plus on a tendance à l'attaquer suivant la normale à la trajectoire, ce qui revient à diminuer la pente de la côte à gravir en cheminant plus près des lignes de niveau.

7. Le fantôme magnétique réalisé avec une limaille de fer pur n'est pas rigoureusement superposable à celui formé, par exemple, avec de la limaille de ferro-nickel et, dans ce cas encore, on peut constater une spécificité de lignes de force.

Les faits que nous venons de rappeler nous conduisent tous vers cette conclusion : certains corps présentent une faible inertie par rapport à l'énergie qui les sollicite à se déplacer dans un champ d'action et ils lui obéissent facilement; ces corps se laissent conduire en suivant les lignes de force du champ considéré; ainsi en est-il, par exemple, des métaux dans un champ électrique et des corps magnétiques dans le champ d'un aimant. D'autres corps présentent une forte inertie par rapport à l'énergie qui les sollicite à se déplacer dans le champ; ces derniers tendent à s'opposer au déplacement, à se « mettre en travers du mouvement », à s'aligner sur les lignes de niveau ou lignes équipotentielles du champ; ce sont, par exemple, les isolants électriques

ou les corps diamagnétiques. Du corps le plus conducteur au corps le plus isolant, du corps le plus magnétique au corps le plus diamagnétique, du corps le plus soumis au corps le plus rebelle quant au mouvement qu'un champ d'action tend à lui imposer, il existe toute une gamme de degrés d'obéissance dont on pourrait dresser un classement ordonné comme celui des corps simples en chimie.

On conçoit donc que la constatation de Weyher est un cas particulier d'un phénomène d'ordre tout à fait général. En le

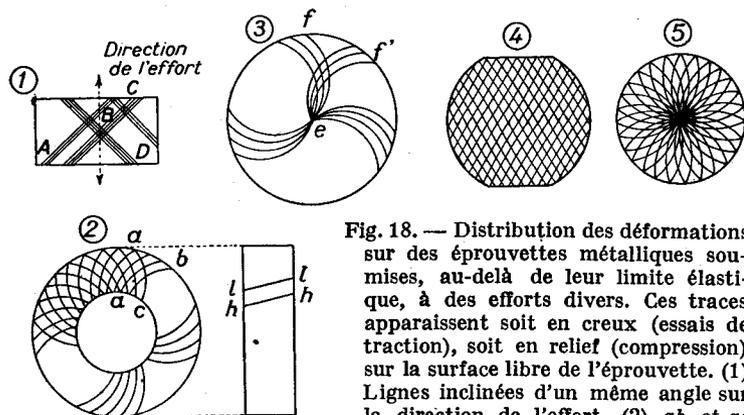


Fig. 18. — Distribution des déformations sur des éprouvettes métalliques soumises, au-delà de leur limite élastique, à des efforts divers. Ces traces apparaissent soit en creux (essais de traction), soit en relief (compression) sur la surface libre de l'éprouvette. (1) Lignes inclinées d'un même angle sur la direction de l'effort. (2) ab et ac sont les spirales logarithmiques appa-

raissant sur les tranches planes d'un cylindre creux soumis à une pression intérieure ou extérieure, ll et hh sont les portions d'hélice apparues sur les faces cylindriques. (3) Spirales logarithmiques apparues sur disques portés par leur périphérie et poinçonné au centre e . (4) Déformation après compression. (5) Emboutissage. Actuellement, les procédés de la Photo-élasticité permettent de retracer les efforts intérieurs des pièces soumises à un travail mettant en jeu leur résistance élastique (tensions internes) au moyen de modèles en verre examinés en lumière polarisée. Le verre primitivement isotrope devient anisotrope sous l'influence des efforts auxquels il est expérimentalement soumis. Ainsi sont matérialisées les contraintes internes.

rapprochant de tous les autres faits dont nous venons de donner une courte énumération, on arrive à cette conviction que toute particule matérielle a son chemin d'élection, sa trajectoire spécifique dans le champ où elle est appelée à se déplacer, loi d'autant plus exacte que cette particule est plus près de son extrême division.

Les Eléates, Aristote à leur tête, professaient déjà cette opinion que chaque corps a sa place naturelle dans l'univers...

Si le principe que nous venons d'énoncer est bien exact, il s'en déduit obligatoirement que chaque substance possède son angle d'attaque propre, angle sous lequel sa trajectoire coupe le réseau des lignes de force ou des lignes équipotentiels du champ d'action. Ainsi, les « fantômes » que l'on pourra réaliser seront propres à la substance employée : de Savart à Weyher, les expériences successives ont augmenté notre degré de certitude quant à cette éventualité.

L'importance d'un tel principe, considéré du point de vue morphogénétique, n'est pas négligeable : dans l'enchevêtrement des formes, la spécificité d'emplacement peut constituer parfois la lueur susceptible de nous guider dans la recherche du processus énergétique générateur de la forme et répartiteur des matériaux dont l'hétérogénéité ne constitue qu'un aspect sommaire.

Lignes de force. Clivage. — D'après les conceptions de Faraday, les lignes de force caractéristiques d'un champ d'action sont assimilables à des lignes de tension se repoussant mutuellement. Nous objectiverons aisément cette notion en considérant les lignes de tourbillon comme les axes des mouvements hélicoïdaux de la matière entraînée. Ces mouvements, possédant tous le même sens, tendent à produire une disjonction de leurs axes respectifs, ce que les physiciens expriment sous une autre forme : les lignes de tourbillon créent autour d'elles des vitesses virtuelles qui, à un facteur près, sont représentées par les mêmes vecteurs que les champs magnétiques produits par des courants de même forme et de même intensité. Pratiquement, ces vitesses virtuelles ne sont rien d'autre que des pressions.

Nous voici donc amenés à formuler cet énoncé : deux lignes de force sont toujours séparées l'une de l'autre par un intervalle de faiblesse. Cette évidence, encore qu'elle n'ait jamais été explicitement formulée, doit s'imposer à nous dès que nous voulons aborder la morphologie. Elle nous indique, en particulier, que, sous l'influence des champs d'action, la matière tend toujours à prendre une structure discrète, la cohésion ne pouvant s'y manifester continûment sur les trois axes de coordonnées à la fois ; linéairement, c'est la structure fasciculée ; superficiellement, c'est

la structure lamellaire; spatialement, c'est la structure globuleuse ou la cristalloïde. Autrement dit, des lignes ou des surfaces de *clivage* amorcent, dans la répartition de la matière, des disjonctions réalisables sous un faible effort. Ainsi en est-il, par exemple, des barres d'acier (rails de chemin de fer, barre d'accouplement, etc.) soumises à des martelages continus ou à des vibrations répétées dont l'influence leur communique petit à petit une structure cristalline entraînant leur rupture presque spontanée.

Faraday n'a pas été jusqu'à donner une existence réelle aux lignes de force. Elles ne semblent posséder, en effet, qu'une existence purement virtuelle et ne se peuvent matérialiser que par la présence, dans le champ d'action, de particules susceptibles d'obéir aux sollicitations énergétiques déterminées par l'existence d'un tel champ. Il est fort probable, toutefois, que ces lignes sont des lignes tourbillonnaires d'éther, que la structure matérielle nous révèle en venant se mouler sur la structure éthérée. L'échelle de possibilité de nos investigations actuelles dans la physique infra-atomique ne nous permet pas encore de transformer cette supposition en conviction et, encore moins, cette conviction en certitude.

Décomposition et recombinaison des mouvements tourbillonnaires. — Il suffit de savoir ce qu'est un système de coordonnées rectilignes, soit dans le plan, soit dans l'espace, pour comprendre les deux propositions suivantes :

1. Toute courbe tracée sur un plan peut être considérée comme étant la résultante de deux mouvements rectilignes, perpendiculaires entre eux (si les coordonnées sont orthogonales), accomplis à chaque instant par un point assujéti en même temps à ces deux mouvements.

2. De même, toute courbe tracée dans l'espace peut être considérée comme la résultante de trois mouvements rectilignes, perpendiculaires entre eux, accomplis à chaque instant par un point assujéti à ces trois mouvements en même temps.

Si les mouvements sont continus et toujours de même sens, les courbes qui en résultent sont forcément ouvertes et tendent vers l'infini. Pour que les courbes obtenues soient fermées, il

faut que les mouvements le soient aussi, c'est-à-dire que les mouvements rectilignes soient alternatifs, avec une amplitude constante ou des amplitudes décroissantes; c'est le cas des mouvements vibratoires harmoniques; c'est aussi celui de mouvements vibratoires amortis. On sait, d'après ce qui a été dit précédemment, que, pratiquement, on peut user de l'artifice consistant à remplacer le mouvement vibratoire harmonique par un mouvement circulaire convenablement choisi.

A Wheatstone revient l'honneur d'avoir, le premier, appliqué cette propriété géométrique à l'étude du mouvement vibratoire composé d'une verge encastrée : son « kaléidophone » consistait essentiellement en une petite sphère brillante adaptée à l'extrémité d'une verge vibrante disposée verticalement; grâce à la persistance des impressions lumineuses, l'œil percevait en images continues les déplacements de la boule et ces images variaient selon le rapport de fréquence des deux ordres de vibrations produites dans deux plans perpendiculaires entre eux. En substituant à la boule un style inscripteur, Koenig transforma en une expérience objective l'observation subjective fournie par l'appareil de Wheatstone.

Lissajous inventa le dispositif des deux miroirs vibrants interposés sur le trajet d'un pinceau lumineux. La description détaillée

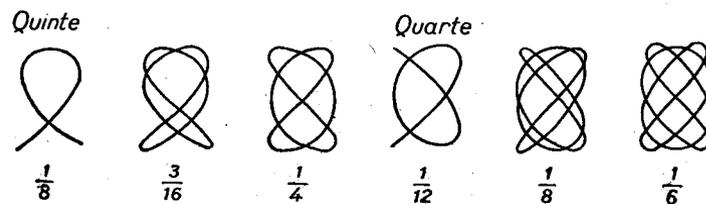


Fig. 19. — Figures de Lissajous.

en figure dans tous les traités d'acoustique, avec la discussion géométrique par laquelle cet auteur a relié les mouvements vibratoires aux mouvements tourbillonnaires. Par la suite, l'auteur rendit le phénomène plus facile à comprendre en établissant une machine qui, au moyen d'engrenages démultiplicateurs susceptibles de fournir un grand nombre de rapports, communiquait à une pointe écrivante deux mouvements rectilignes alternatifs,

perpendiculaires l'un à l'autre. Selon les rapports de démultiplication employés, on obtenait des tracés divers : circonférence, ellipse, ligne droite, lemniscate, etc.

Perfectionné par Helmholtz, qui a employé des diapasons entretenus électriquement, puis par Mercadier, qui a étudié l'effet des surcharges ajoutées sur les branches des diapasons, le dispositif primitif semble être arrivé à son perfectionnement définitif avec l'*Harmonigraphe* de Tisley : dans cet appareil, deux pendules montés sur des suspensions de Cardan portent l'un un

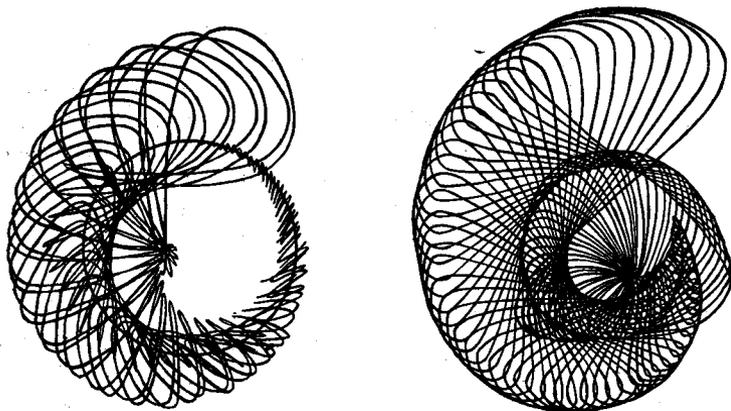


Fig. 20. — Tracés obtenus avec l'Harmonigraphe.

style, l'autre une surface sur laquelle écrit le style. Des poids curseurs permettent de régler à volonté la période d'oscillation de chacun des pendules, tandis qu'on peut, d'autre part, modifier à volonté l'angle que forment entre eux les deux plans d'oscillation. En variant les périodes et les plans d'oscillation, on obtient une variété, pour ainsi dire infinie, de formes présentant presque toutes un grand intérêt. En déplaçant circulairement le papier sur lequel étaient reçues les courbes, on ajoutait un troisième mouvement composant et le tracé résultant a fait dire à Marey : « Les morphologistes feront bien de méditer cette figure qui montre comment des formes compliquées peuvent être engendrées par la combinaison de mouvements simples et peu nombreux. »

Les recherches de Lissajous se limitaient à un point de vue

bidimensionnel. L'étude du mouvement tridimensionnel, c'est-à-dire la composition de trois vibrations harmoniques produites sur les trois plans de référence d'un système de coordonnées rectangulaires, a été faite mathématiquement et graphiquement par A. Righi qui, à cette occasion, a formulé, au sujet du relief, quelques remarques dont il ne semble avoir tiré aucune conclusion. Nous y reviendrons.

Le *Campylographe* (inscripteur d'inflexions) du Père Dechevrens, présenté autrefois à l'Académie des Sciences, permettait d'obtenir mécaniquement des courbes fermées résultant de la combinaison de trois mouvements, dont deux rectilignes alternatifs et un troisième circulaire uniforme, le mouvement circulaire ayant pour but de maintenir les tracés dans les limites de l'épure. Les courbes étaient recueillies sur le *plan* d'une feuille de papier noirci.

Signalons enfin deux dispositifs mécaniques fort intéressants établis l'un et l'autre dans ce même but de matérialiser la composition des mouvements. L'un est un appareil d'enseignement, imaginé par M. Gueugnon et qui, par une ingénieuse adaptation de la machine d'Atwood, permet l'étude graphique, soit analytique, soit synthétique, de fonctions périodiques. L'autre, dénommé « Photo-ratiograph » par son auteur A. G. Banfield, combine un parallélogramme articulé, un jeu d'engrenages réducteurs semblable à celui des tours à fileter et deux biellettes montées sur roulements à billes; il arrive ainsi à déterminer le mouvement composé, soit d'un style inscripteur, soit d'un point brillant dont on recueille photographiquement les déplacements. La beauté et la délicatesse des tracés obtenus selon que les vibrations sont en phase ou en opposition, selon le rapport des fréquences, selon l'amplitude, selon le jeu d'un facteur d'amplification ou d'amortissement des oscillations, en font un véritable feu d'artifice graphique.

Il ne semble pas que le monde scientifique ait, jusqu'à présent, aperçu l'intérêt qui s'attache aux efforts des ingénieurs inventeurs des divers dispositifs que nous venons de passer rapidement en revue. Il semble également que les auteurs de ces appareils aient trouvé complète satisfaction pour leur esprit dans la contemplation des images recueillies. La synthèse que nous

venons de présenter orientera peut-être quelqu'un d'entre eux vers les buts pratiques que comportent leurs recherches.

Balistique et morphologie. — Sur la route où nous l'avons engagée, nous pouvons pousser notre pensée encore plus loin.

De même que « tout se traduit, a dit Descartes, par figure et mouvement », de même il n'y a que deux sciences essentielles : la Balistique, ou science des mouvements tourbillonnaires, et la Morphologie ou science des traces laissées par les mouvements accomplis. A la rigueur, on y peut joindre un troisième terme : la Statistique énergétique, science des bilans relatifs aux travaux dont les processus naturels sont la cause ou le résultat.

Expliquons-nous. C'est un fait certain que les programmes des études scientifiques, dans toutes les branches, sont actuellement fort chargés et contraignent de plus en plus les élèves et les professeurs, comme les techniciens, à se spécialiser. Nous sommes loin du temps, et nous nous en éloignons chaque jour davantage, où l'honnête homme pouvait, et devait, se payer le luxe d'avoir des teintures assez étendues dans toutes les disciplines du savoir humain. Et les philosophes se font d'autant plus rares que la difficulté s'accroît pour un esprit d'arriver à dominer d'un regard généralisateur la somme des connaissances accumulées, sans classement corrélatif, par les recherches modernes.

Séparées les unes des autres par des cloisons devenues étanches, les diverses sciences progressent à petits pas; tendant à s'ignorer réciproquement, à s'enrichir de fragments en attendant de se fragmenter elles-mêmes, elles défendent leurs approches, chacune de son côté, en s'abritant derrière un vocabulaire qui leur est propre et qui rebute à tout jamais ceux qui ne possèdent point le bonheur de compter parmi leurs initiés. On analyse, on travaille en profondeur, on publie, le plus souvent possible, des mémoires les plus courts possible; on ne fait plus le gros, mais le détail et on manipule des tonnes de petite monnaie en place de grosses pièces. Le travail des termites scientifiques a remplacé le vol des aigles; et c'est pourquoi la moindre taupinière est devenue montagne, la moindre trouvaille parcellaire est fêtée à l'égal d'une découverte géniale. Ainsi le veut notre époque : la science s'est démocratisée et s'est, par là, conformée à cette loi de l'évo-

lution naturelle en vertu de laquelle les grands organismes cèdent progressivement du terrain aux plus petits; le règne du mammoth est relégué dans le passé et c'est au microbe qu'appartient l'avenir.

Quand une espèce animale s'abâtardit, quand elle dégénère et s'en va vers sa fin, elle peut reculer l'époque de sa disparition en changeant d'habitat; un tel transfert remet tout en question. Pourquoi la science ne suivrait-elle pas cette méthode? Pourquoi ne rechercherait-elle pas une nouvelle vigueur dans un « repiquage » comme on en impose un aux jeunes plants pour hâter leur développement?

Nos écoliers en sont encore à apprendre séparément l'acoustique, la chaleur, l'électricité et l'optique comme si ces sciences n'avaient aucun lien entre elles, alors qu'on pourrait leur inculquer une science plus générale, une physique balistique dont les divisions actuelles de la physique ne seraient plus que des applications particulières. A. Boutaric était déjà entré dans cette voie, en traitant des Oscillations et des Vibrations, quelle que fût leur nature; on peut aller plus loin et instaurer la science des mouvements tourbillonnaires animant les corpuscules qui se déplacent dans l'éther en obligeant ce dernier à réagir. L'enseignement en sera d'autant simplifié et l'élève acquerra des vues synthétiques qui lui font actuellement défaut parce qu'on s'ingénie à emplir les crânes avec une accumulation stérile de faits particuliers.

La Balistique rationnelle nous offre, par rapport aux sciences physiques dont nous venons de parler, l'avantage d'une discipline plus complète. En tant qu'étude du « Mouvement dans un milieu résistant, homogène, immobile, d'un point matériel pesant soumis à l'action de la gravité, force toujours constante et parallèle, et de la résistance de l'air force toujours tangentielle », la Balistique extérieure, branche terrestre de l'Astronomie, nous dit Charbonnier, comporte comme celle-ci un calcul des *perturbations* qui viennent affecter la trajectoire simple donnée par la solution du problème balistique principal. C'est un énorme avantage, en donnant à réfléchir à l'étudiant qui est ainsi forcé de prendre contact avec le réel, que de confronter le théorique, où les résistances passives ne sont rien, et le pratique, où il faut largement compter avec elles.

Nous ne pouvons insister, en raison du grand nombre de matières que nous avons encore à aborder. Mais nous ne pouvons faire autrement que de signaler l'intérêt présenté, pour l'étude de la mécanique atomique, par le problème de la trajectoire du tir au pôle, où un projectile lancé dans une direction quelconque parcourrait sa trajectoire comme si la terre était immobile. Un tel projectile, en le supposant lancé avec une vitesse initiale de 7.900 m.s., va décrire autour de la terre une circonférence

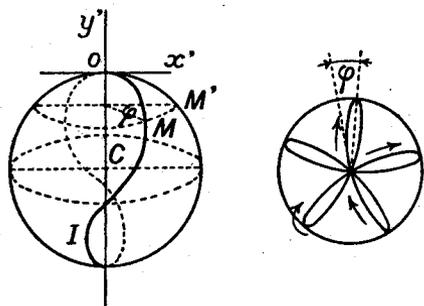


Fig. 21. — La « marguerite » des artilleurs.

avec une vitesse uniforme et tournera sans cesse comme un satellite autour d'une planète. Son mouvement absolu étant une circonférence, son mouvement relatif, ou apparent, pour un observateur placé au pôle et entraîné dans le mouvement de rotation de la terre, gauchit, « voile » la circonférence

en question. Et si l'on suppose l'observateur placé assez loin sur l'axe des pôles, la courbe foliée sous laquelle apparaît la trajectoire a été dénommée « marguerite des artilleurs », et est certainement apparentée à certaines trajectoires électroniques.

Signalons également le puissant intérêt qui s'attache à l'étude des combinaisons de deux mouvements simultanés de translation et de rotation, à celle de la déviation des projectiles tournants sphériques ou discoïdes, à la dérivation des projectiles oblongs : cette étude apporte avec elle la solution d'une infinité de problèmes pratiques, tant dans l'ordre physique que dans l'ordre biologique.

Si nous nous tournons vers la Balistique intérieure, nous nous trouvons en face des problèmes relatifs à l'explosion et à la détente, lesquels nous mènent vers la conception d'une *Loi de l'Optimum* qui est d'application constante dans les manifestations naturelles et, plus particulièrement, dans celles concernant les processus dont les êtres vivants sont le siège. En effet,

le constructeur d'une bouche à feu se trouve obligé de concilier une série de conditions contradictoires quant au rendement de sa pièce et il est dans un cas semblable à celui que nous avons signalé pour le constructeur de moteurs d'automobiles : les bons effets de l'allongement du canon et de l'utilisation maximum de la détente sont atténués par le plus grand refroidissement des gaz, et l'augmentation de la « vivacité » de la poudre entraîne une augmentation du frottement des ceintures sur les rayures de l'âme; entre une extrême division de la poudre, qui assure une combustion totale, mais provoque une explosion brisante, et une division moins poussée correspondant à une combustion moins rapide et, par suite, à une certaine perte, il faut choisir; rapport du diamètre de l'âme à sa longueur, capacité de la chambre, etc., toutes ces données sont à « faire coller » au mieux les unes avec les autres, et c'est ainsi que s'introduit la notion d'optimum, c'est-à-dire d'une transaction, d'un compromis entre les maxima souhaités, mais qui s'excluent les uns les autres.

Dans les travaux de mines, où il faut à la fois fissurer la roche et la disperser, on se trouve devant une difficulté analogue : c'est la force de percussion qui produit les fissures et crevasses ramifiées en tous sens, mais c'est la force de propulsion qui détache et projette les blocs; un excès de percussion détruit la roche en débris trop fins et agglomère les fragments, tandis qu'un excès de puissance de propulsion lance les blocs à trop grande distance, ce qui n'est pas toujours exempt de dangers. L'explosif idéal est celui qui harmonise les desiderata antagonistes, en fonction de la matière à traiter, car un explosif trop brisant employé dans un terrain tendre peut conduire à une perte presque totale de l'énergie disponible.

Placé constamment, dans ses réactions aux influences du milieu dans lequel il évolue, dans la nécessité de répondre à la fois le plus vite et le plus vigoureusement, en même temps que le plus économiquement possible, le vivant doit mettre en œuvre des dispositifs permettant, dans chaque particulier, de réaliser l'optimum entre ces diverses nécessités. Il y parvient par l'emploi de mécanismes différentiels, par l'entraînement, par l'adaptation. On voit donc quel rapprochement peut être opéré entre

les réalisations naturelles et les préoccupations de l'ingénieur. Et ce n'est, dans un cas comme dans l'autre, que par une suite d'essais plus ou moins heureux que l'optimum est atteint.

Ce n'est pas seulement par ce que nous venons de signaler que Balistique et Biologie sont deux sciences ayant besoin de se rapprocher l'une de l'autre. On peut en trouver d'autres raisons : les projectiles, en effet, tant par leur grande vitesse d'avancement que par leur rotation sur eux-mêmes durant leur translation, tant par cette liberté relative qu'ils acquièrent dès leur sortie de la bouche à feu jusqu'à leur arrivée au but, que par leur asservissement aux conditions du milieu, tant dans leur principe directeur qui les fait exploser dans des conditions prédéterminées que par leurs effets destructeurs ou leurs probabilité de réussite, tant par l'explosion déclenchante de la cartouche que par le frein amortisseur de la pièce, posent une infinité de problèmes d'un puissant intérêt pour le biologiste.

Approximations successives. — La Balistique pratique, c'est-à-dire le tir et son réglage, nous fournissent un autre enseignement. Entre les coups trop longs et les coups trop courts, il y a les coups au but; ce dernier est atteint par encadrement de plus en plus étroit de l'objectif. Nous venons de dire que le vivant ne procédait pas autrement dans ses « réponses physiologiques » aux agressions venues du milieu extérieur et ceci, par la mise en jeu de mécanismes différentiels. L'exemple le plus simple que l'on puisse prendre, parce qu'il est connu de tous, est le réglage des mouvements conscients par l'action conjuguée de deux muscles, dont l'un accomplit le travail et dont l'autre, son antagoniste, accomplit un travail directement opposé, et freinateur; l'habitude, l'entraînement sont nécessaires pour réaliser des actions adverses et réduire le travail de freinage au strict nécessaire assurant la précision du mouvement à effectuer.

Lorsque nous dirons deux mots de la fonction musculaire, nous montrerons la différence existant entre la musculature dite « lisse », qui est celle de nos viscères et de tous les organes de la vie végétative et la musculature dite « striée », qui est celle de nos membres et de tous nos organes de la vie sensible. Les premiers sont, autant dire, des mécanismes « tout ou rien »,

alors que les seconds possèdent un fonctionnement qui peut devenir extrêmement nuancé, grâce à leur dispositif différentiel. Il est vrai qu'en compensation, les premiers ont un fonctionnement énergétique remarquablement économique, alors que les seconds remplissent des fonctions « de luxe », relativement onéreuses.

Ces mécanismes différentiels abondent chez le vivant, où ils sont à peu près partout. Ils se complètent par des systèmes-tampons ou amortisseurs, qui entrent en jeu dès que l'équilibre normal d'une fonction ou d'un des nombreux milieux physiologiques qui assurent le jeu vital, a tendance à s'écarter trop fortement de la normale.

Systèmes-tampons. — La supériorité d'une organisation vitale réside principalement dans la finesse de jeu de ses amortisseurs. Avez-vous quelquefois réfléchi à ce qu'est au juste un amortisseur? Ce n'est pas la machine « à tuer le temps », mais c'est, tout au contraire, un dispositif à gagner du temps. Entre mille exemples qu'on en pourrait donner, empruntés au domaine de la mécanique, nous choisirons celui qui est le plus familier à tous ceux qui ont appris, dans l'usage de leur automobile, à faire connaissance avec lui.

Autrefois, lorsque vous franchissiez à trop vive allure un caniveau ou un cassis sur la route, le brusque rebondissement des ressorts communiquait à la caisse de la voiture un *coup de raquette* d'autant plus dur et dangereux que la vitesse du véhicule était plus grande. On n'a pu songer sérieusement à augmenter le parcours horaire possible des automobiles que lorsque des dispositifs efficaces ont fait leur apparition, susceptibles de réduire la brusquerie de l'inévitable choc : cela a été le rôle dévolu aux amortisseurs. Que fait un tel amortisseur? Rien d'autre que de *diluer dans le temps* l'instantanéité de détente du ressort fortement tendu, et faire qu'un phénomène s'accomplissant normalement en quelques centièmes de seconde, se déroule désormais en plusieurs dixièmes de seconde. En d'autres termes, un processus de nature explosive, dangereux par la rapidité avec laquelle ses diverses phases se succèdent, se trouve mué, grâce à l'introduction de l'amortisseur, en processus non dangereux de détente progressive.

Par-dessus tout, *vivre, c'est durer*; il n'est donc pas malaisé de deviner le rôle capital assumé par les systèmes amortisseurs dans les organisations vitales : parer à toutes les sautes brusques que l'ambiance peut imposer à un être, *feutrer* pour lui tous les coups du sort, réduire l'éclat d'un tonnerre en une multitude de menues étincelles vivifiantes, c'est là le rôle essentiel du tampon qui devient un réel prolongateur de la vie de l'individu, comme il en est un pour la bonne conservation du mécanisme inerte.

Mais nous sentons aussi, qu'au-dessus de la simple fonction de dilution du choc, peut s'en présenter une autre, qui sera une fonction de restitution, permettant à l'être vivant, non seulement de ne plus se trouver à la merci des impulsions trop puissantes et susceptibles de l'entraîner hors de sa norme, mais d'utiliser ces impulsions à l'entretien de sa propre substance et de ses propres manifestations vitales. Ici, l'amortisseur est mieux qu'un frein, il devient un frein à récupération.

Les biologistes découvrent tous les jours de nouveaux *effets tampons* dans le jeu vital. On s'aperçoit aujourd'hui qu'il en existe aussi bien dans l'ordre chimique — par exemple, le rôle des bicarbonates et des protéinates dans le rétablissement de l'équilibre acido-basique du sang — que dans l'ordre physique ou mécanique — par exemple, les « lacs sanguins » qui viennent s'interposer dans la circulation générale, ou la cloison médiane du cœur qui, comme l'a montré J. Guilbert, équilibre la circulation d'aller et celle de retour. Les exemples abondent, nous en signalerons d'autres, chemin faisant. On voit, en tout cas, et sans que nous ayons besoin d'insister davantage, que, en confirmation de notre proposition première, les possibilités du vivant sont bien fonction du nombre et de la qualité de ses systèmes amortisseurs.

CHAPITRE VII

LA MATIÈRE

Pour bien comprendre le vivant, nous croyons qu'il est nécessaire de commencer par bien comprendre le non-vivant, faussement dénommé inerte. Les travaux modernes concernant la constitution de l'atome nous obligent à renoncer à la dernière appellation.

Passant au déluge, nous supposons suffisamment connue de tous la théorie concernant la constitution de l'atome et nous en venons immédiatement aux remarques diverses que peut susciter une telle théorie.

L'atome de Bohr n'est pas viable. — Qu'il soit nécessaire d'ajouter au mouvement de translation circulaire de l'électron autour du noyau un mouvement propre de giration ou de révolution sur eux-mêmes de chacun de ces deux éléments de l'atome, nous ne nous en occuperons pas ici, ce sujet ayant été déjà traité par d'autres auteurs. Par contre, ce que nous n'avons pas encore vu traiter par aucun d'eux et qui est susceptible de nous apporter des éclaircissements sur un certain nombre de phénomènes physiques, c'est le point particulier dont nous allons dire quelques mots.

Examinons l'atome d'Hydrogène tel qu'il est conçu dans la théorie de Bohr, c'est-à-dire un unique électron décrivant une orbite circulaire autour d'un noyau central. Cet atome n'est pas viable et se détruit de lui-même, pour la bonne raison qu'*il n'est pas équilibré dynamiquement...* Ne nous hâtons pas d'en conclure que la théorie est fautive; nous la tenons au contraire pour exacte, à condition de la compléter par le correctif que nous indiquons et qui comporte un certain nombre de conséquences.

La première conséquence du manque d'équilibrage dynamique

du système d'électrons gravitant sur la couche externe, c'est une auto-destruction de ce système; les uns après les autres, les électrons sont rejetés hors de leur orbite. Ne croyez-vous pas qu'un tel phénomène ressemble diantrement à celui que les physiciens appellent *radioactivité*?

Une seconde conséquence de la même cause, c'est que certains corps ne peuvent exister à l'état atomique et ne peuvent durer que si, groupant les atomes pour en constituer des amas moléculaires dynamiquement équilibrés, ils font disparaître la cause de leur destruction naturelle. Si l'atome d'Hydrogène n'est pas viable, la molécule H^2 l'est parfaitement.

Une troisième conséquence est que l'*affinité* chimique est certainement apparentée au manque d'équilibre dynamique et s'affirme d'autant plus que l'équilibre est plus précaire.

Une quatrième conséquence est que les atomes bien équilibrés dynamiquement sont très stables, ce qui est, par exemple le cas de l'atome d'hélium, chimiquement inerte.

Une cinquième conséquence est que cette même notion d'équilibre dynamique nous fait comprendre pourquoi ce que l'on appelle « état naissant » est nécessaire à la réalisation de certaines combinaisons chimiques : non encore équilibré et, en quelque sorte, en état radioactif provisoire, l'atome est prêt à entrer dans toute association s'offrant à lui pour lui procurer cette stabilité cinématique sans laquelle il ne saurait durer. De deux choses l'une, dans cette recherche de la persistance : ou l'atome s'associe avec un ou plusieurs atomes de même nature, et il passe à l'état moléculaire simple; ou ce même atome s'associe avec un ou plusieurs atomes d'une autre substance, et entre dans une combinaison chimique.

D'où nous pouvons déduire, comme sixième conséquence, que la mise en train des réactions chimiques par le moyen de chaleur, d'électricité, etc., est nécessitée par le besoin de déséquilibrer les atomes ou les molécules provisoirement stables, pour les faire passer à l'état naissant, ou ionisé, ou radioactif qui les oblige à entrer en combinaison pour retrouver un nouvel état de stabilité et de durée; et la septième conséquence est que les « radicaux chimiques » sont des assemblages moléculaires équilibrés, tout au moins provisoirement.

On peut pousser plus loin encore l'analyse des phénomènes déterminée par la conception de la nécessité de l'équilibre dynamique — équilibre d'autant plus nécessaire que, s'il s'agit de masses très petites, ce qui est susceptible de minimiser l'influence du manque d'équilibre, il s'agit, en revanche, de vitesses énormes, ce qui redonne une importance certaine à la notion qui nous occupe en ce moment. Laisant de côté la question de la dissociation électrolytique, malgré l'intérêt qu'il y aurait à la suivre en tenant compte des remarques précédentes, montrons d'une autre manière combien il serait souhaitable que des conceptions empruntées à la simple mécanique puissent être introduites dans la science chimique.

Si l'on abandonne, pour un instant, la classification atomique pour une classification basée sur le principe de la nécessité d'un équilibre satisfaisant, on est obligé, comme conséquence de ce que nous avons précédemment exposé, d'établir une sorte d'équivalence entre molécules de corps simples et certains radicaux chimiques, la différence entre les premières et les seconds résidant dans ce seul fait que les premières assemblent des atomes de même nature, et les seconds, des atomes de nature différente. En partant d'une telle donnée, on substitue au tableau quadrangulaire de la classification de Chancourtois-Mendéleieff un tableau triangulaire se présentant de la manière ci-après (fig. 23).

Si nous commentons rapidement un tel tableau, nous voyons que toutes les molécules placées sur une même ligne horizontale possèdent le même nombre d'électrons, avec un nombre de noyaux croissant de 1 à n au fur et à mesure qu'on se déplace vers la droite, tandis que les molécules placées sur la même verticale ont même valence. L'intérêt de ce tableau réside dans ce fait que les molécules placées sur une même ligne horizontale peuvent être considérées comme des *homologues*. Or, il est à remarquer que la plupart des réactions biochimiques consistent en des échanges de tels homologues.

Il semble donc que ces réactions s'accomplissent aux moindres frais énergétiques parce qu'elles portent uniquement sur des échanges de molécules structurellement très proches les unes des autres.

1	H Hydrog. atom.										
2	He Helium	H ₂ Hydr. moléc.									
3											
4											
5											
6 (2+4)	C _N Carbone										
7 (2+5)	N _{III} Azote	CH Méthyle (Méthène)									
8 (2+6)	O _{II} Oxygène	NH Amine second. ^{re} (radical)	CH ₂ Méthylène								
9 (2+7)	F _I Fluor	Auxochrome OH Oxhydrile (hydroxyle)	Auxochrome NH ₂ Amine primaire (radical)	CH ₃ Méthyle (radical)							
10 (2+8)	Ne ₀ Néon	FH Ac. Fluorhydrique	OH ₂ Eau	NH ₃ Ammoniac	CH ₄ Méthane						
11 (2+8+1)	Na _I Sodium									NH ₄ Ammonium (radical)	
12 (2+8+2)	Mg _{II} Magnésium	Chromophore C ₂ Carbone mol.									
13 (2+8+3)	Al _{III} Aluminium	Chromophore CN Nitrile rad. (cyanogène)	NaH C ₂ H								
14 (2+8+4)	Si _{IV} Silicium	Chromophore CO Carbonyle N ₂ Azoïque	Chromophore CNH Ac. Cyanhydric. Carbamide nitrile formique	C ₂ H ₂ Acétylène							
15 (2+8+5)	P _{VIII} Phosphore	Chromophore NO Nitroso (rad.)	Groupe alcool tertiaire COH Formyle (rad.)	CNH ₂	CH ₃ (CH ₂ CH ₂)						
16 (2+8+6)	S _{II} Soufre	O ₂ PH	N.OH	Groupe alcool secondaire CHOH Ac. formiq.	CH ₂ NH	C ₂ H ₄					
17 (2+8+7)	Cl _I Chlore	SH	PH ₂	NH.OH	Groupe alcool primaire CH ₂ OH Méthoxyle	CH ₃ NH (CH ₂ NH ₂)	C ₂ H ₅ Ethyle				
18 (2+8+8)	A ₀ Argon	Cl.H Ac. chlorhyd.	H ₂ S Hyd. sulfuré	PH ₃ (OH) ₂	Silicure de H Si H ₄ OH.NH ₂ Hydroxylamine	(NH ₂) ₂ CH ₃ OH Alcool méthyl.	CH ₃ NH ₂ Monoethyl. amine	(CH ₃) ₂ Ethane			

Tableau triangulaire des atomes, molécules et radicaux chimiques classés d'après leurs nombres moléculaires équivalents.

Erratum.

Dans ce tableau, lire NH₄ au lieu de NH pour l'ammonium (case 11-5) et nitrile formique au lieu de nitrile formique (case 14-3).

Bipolarité. — L'atome de Bohr est un système solaire en miniature où des anneaux d'électrons planétaires circulent dans un plan équatorial. Les mouvements des électrons sont extrêmement rapides, ce qui peut permettre d'expliquer l'impénétrabilité et l'insécabilité de l'atome, déjà revendiquées dans la théorie de Démocrite, la vitesse des électrons sur les surfaces-enveloppes qu'ils déterminent leur donnant l'allure d'un véritable *continuum*. De plus, non seulement les mouvements électroniques président à l'architecture spéciale de chaque variété d'atome, mais engendrent une morphologie se rattachant étroitement à cette morphologie tourbillonnaire dont nous avons précédemment parlé et sur laquelle nous aurons l'occasion de

Fig. 23. — Dans chaque colonne verticale, de haut en bas, figurent les éléments (atomes, molécules, radicaux) par ordre croissant de leurs électrons constitutifs. Sur chaque ligne horizontale, de gauche à droite, ces mêmes éléments sont placés dans l'ordre croissant du nombre de leurs noyaux. Il y a des molécules hétéroatomiques (radicaux) et il y en a d'isoatomiques (H₂, C₂, O₂, N₂, etc.) montrant entre elles une pseudo-isométrie. Alors que les polymères tendent vers l'état cristalloïde, les radicaux semblent constituer des blocs, plus ou moins durables, dont sont construites, pour partie, les molécules organiques. Les mutations chimiques entre éléments équivalentes sont fréquentes en Biochimie et se produisent à la température de l'organisme, donc avec mise en jeu du minimum d'énergie. Ainsi en est-il par exemple de la transformation de l'asparagine en ac. aspartique par substitution du radical OH (9 électrons) au radical NH₂ (9 électrons); substitution inverse dans le passage de mannose à glucosamine, dans formation d'amides à partir d'acides gras; même substitution facile dans les phénols, ou encore, dans la formation de naphtylamines à partir des naphthols, etc. On sait qu'il existe un très grand nombre de composés du Carbone dans lesquels un atome de N (7 électrons) paraît être semblable à un groupe CH (7 électrons); c'est le cas, par exemple, du composé benzène-pyridine ou de la naphthaline-quinoléine (de cette remarque, Hantzsch et Werner ont déduit l'orientation des valences de l'atome N vers les trois sommets d'un tétraèdre dont le quatrième est occupé par N lui-même).

On sait aussi que le groupe aminé NH₂ et l'oxhydrile OH sont les plus importants parmi les auxochromes et que, également, ils orientent vers des positions ortho et para l'introduction de nouveaux éléments dans le noyau benzénique.

Il est à remarquer que ces substitutions se font entre éléments à nombre impair d'électrons, faisant soupçonner l'existence d'un certain état de déséquilibre dynamique dans le groupement.

De telles équivalences semblent indiquer que, dans les radicaux, jouent des conditions d'orientation des orbites électroniques et des énergies de résonance. La circulation des électrons sur leurs orbites, leur pivotement sur eux-mêmes (*spin*) rendent ces molécules assimilables à des aimants et leur communiquent un *moment* comme il en existe un dans les organisations dipolaires.

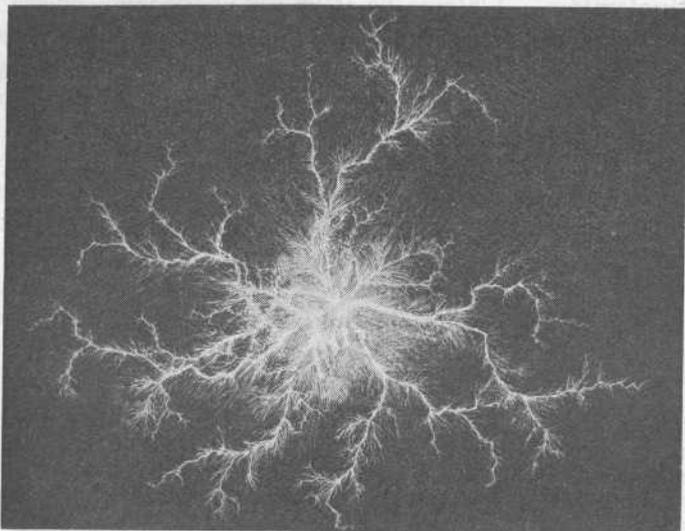


Fig. 24. — Décharge positive d'une bobine de Ruhmkorff (photographie de E. L. Trouvelot publiée par *la Nature*).

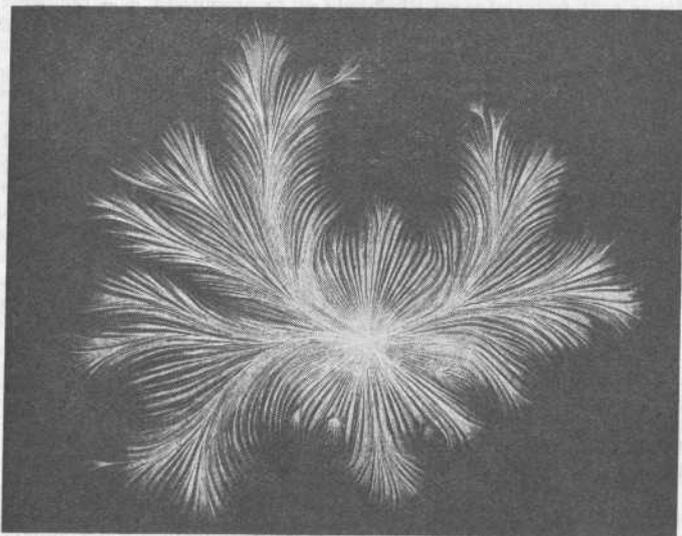


Fig. 25. — Décharge négative d'une bobine de Ruhmkorff (photographie de E. L. Trouvelot, publiée par *la Nature*).

revenir dans les développements que nous consacrerons aux formes du vivant.

Le fait que les poids atomiques ne s'expriment pas toujours rigoureusement par un nombre entier a été expliqué par cette considération que les poids en question ne sont, après tout, que des évaluations statistiques. Nous sommes ainsi obligés de penser à une certaine *individualité* de l'atome : autour d'un type idéal, sans doute jamais entièrement réalisé, existent des variations bilatérales, positives ou négatives, de telle sorte que, pour chaque élément, il s'édifie des atomes non rigoureusement identiques les uns aux autres et possédant une personnalité légèrement différente. Les écarts se tiennent, naturellement, entre certaines limites définies, en deçà comme au-delà desquelles l'atome ne peut plus exister. L'existence de telles variétés, de telles espèces ou de telles races d'atomes est, d'ailleurs, confirmée par les isotopes.

L'organisation bipolaire de l'atome, reflet de celle du monde solaire, se retrouve dans la molécule; elle s'affirme dans certaines molécules de corps composés, comme l'eau ou l'albumine. Nous la voyons à nouveau dans la micelle colloïdale, puis dans la cellule, et enfin, dans l'individu; c'est donc un modèle constructif général dans l'univers.

Morphologie chimique. — Les champs de force chimiques qui manifestent leur existence dans la radioactivité, dans l'affinité ou dans la fluorescence, conduisent, comme tous les champs, à une étude morphologique qu'on a un peu négligée jusqu'à présent, sans doute parce qu'on n'en a pas encore compris l'intérêt scientifique. La cristallographie est cependant intimement liée à cette étude et, dans le même ordre d'idées, il nous faut citer les travaux de S. Leduc et ceux d'Errera, qui sont parvenus à reconstituer, uniquement par des expériences de chimie minérale, non seulement des morphologies, mais également certaines fonctions de la cellule vivante.

Ces travaux n'ont généralement pas été pris en considération : ce sont cependant eux qui sont les plus propres à nous faire comprendre la plupart des mécanismes vitaux. Nous ne pouvons nous étendre sur les expériences de Leduc; indiquons-en tout



Fig. 26. — Crystallisation de chlorure d'ammonium dans la gélatine (S. Leduc.)



Fig. 27. — Microphotographie d'une étincelle électrique (S. Leduc.)

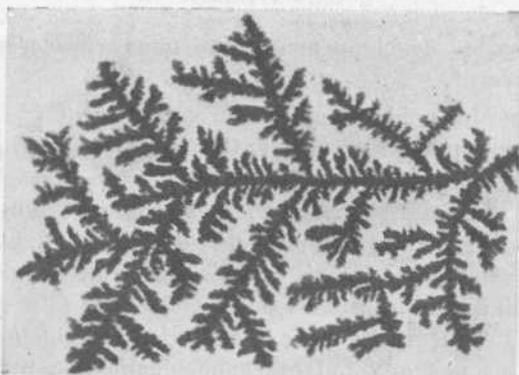


Fig. 28. — Photographie de formes électrolytiques (S. Leduc.)

au moins l'essentiel. L'auteur est parti de cette observation que, lorsque deux liquides, différents par leur nature ou par leur concentration, sont en contact, il en résulte la mise en jeu de forces moléculaires qui produisent des mouvements et engendrent des structures et des formes parmi lesquelles on retrouve la plupart de celles observées chez les êtres vivants. En plaçant, par exemple, une parcelle de nitrate de calcium dans une solution de carbonate de sodium, on obtient une cellule à membrane précipitée de carbonate de calcium, présentant une grande régularité de forme et d'évolution. De telles cellules peuvent être parfaitement sphériques ou, sous l'influence de la pression hydrostatique, allongées, ovoïdes; elles prennent souvent une forme capsulaire et, circonstance curieuse, sont formées de deux valves; parfois, la pression osmotique intérieure soulève la valve supérieure, et la capsule s'ouvre autour d'une charnière comme un coquillage.

Un grand nombre de cellules organiques, êtres monocellulaires, ou cellules épithéliales d'êtres polycellulaires, présentent de fins prolongements ciliaires; on obtient facilement cette variété de cellules artificielles, en mettant une goutte d'un mélange de solution de carbonate de sodium et de phosphate disodique dans une solution de chlorure de sodium contenant des traces de chlorure de calcium. La production de cils semble due à ce que l'ion carbonique diffuse plus facilement que l'ion phosphorique dans la solution de chlorure de sodium.

Les variétés de cellules artificielles que l'on peut obtenir sont très nombreuses, et toutes rappellent quelques formes organiques. Un granule formé de deux parties de sulfate de cuivre et une partie de sucre, placé dans une solution de ferrocyanure de potassium fournit des cellules à longs prolongements filamenteux semblables aux cellules nerveuses ganglionnaires préparées par la méthode de Golgi.

« Rien ne serait plus facile que de multiplier ces exemples, dit S. Leduc, mais ceux-ci suffisent à démontrer à quel point, en se laissant guider par l'imitation des phénomènes de la vie, on peut reproduire, avec des substances minérales, par la direction des forces physiques, les formes, l'organisation, la structure, les particularités des cellules organiques. »

Quelques-uns, en prenant connaissance de ces travaux, ont pensé que leur auteur était parvenu à la création d'éléments véritablement vivants. C'était aller un peu loin. La vérité est qu'il existe une étroite similitude entre les déplacements matériels constatés dans les expériences de Leduc et les mouvements de substances qu'on peut observer dans les processus des êtres vivants, par la simple raison que les phénomènes de l'une et l'autre classe obéissent aux lois conditionnant la répartition des particules qui obéissent aux forces les sollicitant dans les champs d'action. De ces lois, nous avons précédemment indiqué l'essentiel.

CHAPITRE VIII

L'ÉVOLUTION CHIMIQUE

De la Nébuleuse à l'atome d'Uranium. — Dans la préface qu'il a consacrée au livre d'Em. Belot, sur « L'Origine dualiste des Mondes », C. Flammarion s'est exprimé de la sorte : « ...Si les êtres cosmiques, comme les êtres des autres règnes, doivent leur naissance à un dualisme, tout le Cosmos met en œuvre les mêmes moyens génétiques et, dans une synthèse inattendue, la Biologie tend une main secourable à la Cosmogonie ».

Placé à équidistance entre l'infiniment grand de l'Univers stellaire et l'infiniment petit du monde atomique, et ni plus ni moins complexe qu'eux dans sa nature et son organisation, l'homme, en qui s'intègrent tous les attributs de la vie sur notre globe, peut-il échapper à cette loi de similitude que la science moderne fait apparaître de plus en plus étroite entre les deux systèmes extrêmes? Non seulement nous ne le croyons pas, mais encore voulons-nous faire effort pour montrer, en la vie, une suite naturelle, obligée, de l'évolution chimique accomplie à partir de la nébuleuse primitive. Loin de s'achever avec l'édification de l'atome d'uranium, cette évolution s'est, immuablement, sous la domination du facteur Temps et sous l'effet d'un mûrissement progressif ou d'une sénescence croissante, poursuivie dans la formation de molécules de plus en plus complexes dont certaines ont eu le pouvoir d'engendrer ce que nous appelons « la Vie ». Et, des temps préhistoriques aux nôtres, l'évolution de celle-ci n'a fait que suivre, dans ses grandes lignes, celle qui l'avait précédée : l'évolution chimique.

La Cosmogonie est aujourd'hui une science à peu près complètement fixée dans ses grands traits. Nous avons tout lieu de tenir pour exacte une filiation, ou directe avec condensation

accélérée, ou indirecte — avec le Soleil comme masse intermédiaire — et condensation différée, entre une nébuleuse primitive et notre globe terrestre. Ensemencée, dans une sorte de *fécondation sidérale*, lors du choc qu'elle reçoit d'une *nova*, ou proto-soleil, la nébuleuse en phase de dispersion se concentre en formations spiralées se résolvant, par la suite, en amas individuels et globuleux, constitutifs de planètes.

L'analyse spectrale, en établissant que l'atmosphère des nébuleuses et des étoiles brillantes (en particulier des novæ) n'était formée que d'éléments légers, Hydrogène et Hélium, que celle des étoiles jaunes (Soleil, par exemple) marquait une prédominance de métaux tels que le fer, celle des étoiles rougeâtres et à température beaucoup plus basse, montrant surtout du Carbone, l'idée d'une évolution de la matière s'est imposée à tous les esprits, après qu'elle eût été émise par Lockyer. Personne ne doute plus aujourd'hui que les divers atomes se forment au cours de la condensation progressive des nébuleuses et des planètes, non pas, peut-être, dans l'ordre où les range la classification de Mendéléieff, mais dans celui, pensons-nous, imposé par la nécessité d'un bon équilibre dynamique entre noyaux et électrons.

Nous avons, dans la première partie de cet ouvrage, signalé que la durée possible, la vitalité d'un élément atomique était directement liée au degré de perfection de l'équilibre dynamique entre électrons gravitant sur sa couche externe. C'est par cette notion, empruntée à l'art de l'ingénieur, que nous avons expliqué la nature de la radio-activité. C'est par cette même notion d'un déséquilibre dynamique, non plus naturel, cette fois, mais provoqué par intervention d'une énergie étrangère, ou préparé par dissolution ou dispersion, que, vraisemblablement, peut s'expliquer aussi cet *état naissant*, si favorable et même indispensable à la réalisation des réactions chimiques et aux regroupements atomiques, état qui se retrouve sous une autre forme de dissymétrie, déterminée par l'ionisation.

L'atome d'Hydrogène n'est pas viable, parce que non équilibré dynamiquement, et il ne peut subsister qu'engagé dans le système moléculaire H_2 , seule présentation où nous le puissions rencontrer à l'état libre. N'est-ce pas dans cette activité chimique de l'Hydrogène naissant, atomique, que nous devons chercher

une des raisons pour lesquelles son rôle est si grand dans les synthèses réalisées par le vivant? (1) Durant cette période variable s'écoulant entre l'instant où l'atome d'Hydrogène se dégage de la combinaison chimique où il est lié, quand chaque élément isolé doit, sous peine de se désintégrer par libération de son électron et d'actualiser sa radio-activité « congénitale », ou se trouver un conjoint, ou — tel un quatrième à la manille — s'incorporer dans un groupe qui avait besoin de lui pour se compléter, c'est-à-dire se stabiliser, dans cette courte période d'intense agitation électronique réside la phase active, du point de vue chimique. On sait quel est le rôle important pris en Biologie par les conceptions relatives à l'Hydrogène actif, à l'Azote actif, et d'autres encore. On sait aussi que la réalisation des combinaisons chimiques exige, dans tous les cas, une aide étrangère, empruntée à des moyens divers : agitation mécanique, chocs, chauffage, électrisation, lustration, dispositif électrophorétique, etc., tous moyens nécessaires à déclencher cet état dynamique d'instabilité atomique en dehors duquel rien ne se produit, aucun regroupement moléculaire ne s'amorce. Cette durée dans sa figure actuelle, propre à l'inerte comme au vivant, le premier la rencontre dans un équilibre stable, fixé jusqu'à rencontre d'une énergie qui la détruit; le second la trouve dans un équilibre mobile, oscillant, devant quoi les énergies adverses sont, à l'ordinaire, impuissantes quand elles ne sont pas utiles à son entretien et à sa perpétuation.

Nous voyons donc que, si le vivant se tient dans une organisation de durée, l'inerte, dans un autre mode, possède aussi la sienne; le premier la recherche dans un équilibre mobile, le second dans un équilibre statique. Et si le vivant tend vers l'individuation, l'inerte en fait tout autant, mais à une tout autre échelle, infiniment plus basse. C'est par la loi de discrétion du nombre, jouant sur les électrons, que les atomes se classent en espèces, où se reconnaissent des familles et où, aussi, se manifeste une polarité qui est presque un sexe. Mieux encore, les isotopes laissent apparaître, sous les espèces, des différences

(1) Certains auteurs ont invoqué la grande vitesse de rotation de ses électrons, qui en fait un attaquant de tout premier ordre, percutant et pénétrant. H est un élément s'accumulant aux pointes. (Voir : Desmolyse, in *Traité de Biochimie*.)

secondes se tenant dans la constitution et qu'on peut tenir pour de véritables races atomiques.

La formation d'atomes de plus en plus lourds et de molécules de plus en plus complexes est, ainsi que le montre l'évolution des astres, une œuvre du temps, un processus de vieillissement. Faut-il lier cette constatation à une certaine variation d'entropie? Peut-être. Mais le fait est là; ne nous attardons pas à le discuter et enregistrons-le dans sa brutalité, en signalant seulement que, cette tendance à l'agglomération, à la concrétion, nous la retrouverons chez le vivant. Ici comme là, elle traduit l'instauration d'un nouvel équilibre, succédant à celui qui existait précédemment et que sont venues troubler les vicissitudes en provenance d'une énergie extérieure. Dans l'imbroglio d'électrons se développant alors, certains accouplements transitoires se forment, capables de s'introduire tout d'un bloc dans une architecture moléculaire nouvelle : ce sont les *radicaux*. Que l'on veuille bien se reporter au tableau (fig. 23) où atomes et groupements moléculaires simples, théoriques ou réels, figurent à égalité du nombre d'électrons superficiels, et l'on y pourra constater, tout d'abord, que parmi les radicaux, l'ammonium est à peu près seul présent en chimie minérale, alors que tous les autres sont bien connus comme faisant fonction de « pièces détachées », d'une interchangeabilité se manifestant en de fréquentes occasions, dès qu'il s'agit de chimie organique ou de Biochimie (1). Les équilibres minéraux sont trop rigides pour faire une place importante à des radicaux qui, par essence, possèdent une plasticité dont s'accommode parfaitement, au contraire, l'organisation beaucoup plus souple des composés organiques.

Il est non moins remarquable que, par exemple, l'équivalence de O et de NH, comportant chacun huit électrons, ou de OH et NH, avec leur neuf électrons, est manifeste dans de nombreux

(1) Le Cyanogène est un radical de grande stabilité, ce qui a permis de le classer comme composé binaire. On sait quel rôle important il joue en Biochimie, alors qu'en chimie ordinaire, il se distingue par sa grande propension à former des sels complexes, à forte liaison entre le métal et le cyanogène. Dans une théorie demeurée célèbre, Pflüger, se basant sur les analogies existant entre protéines et composés cyanés, donnait au Cyanogène une part prééminente dans l'établissement de la vie sur la Terre. On trouvera, dans la Bibliographie insérée à la fin de ce volume, la référence d'un ouvrage où la théorie de Pflüger est présentée avec des détails suffisants pour la faire bien comprendre (cf. *Maumus*, p. 56).

cas de regroupements organiques, où ces radicaux se comportent en simples atomes, s'échangeant réciproquement aux moindres frais, condition qui s'assortit parfaitement bien à la vie.

Au cours des âges, l'évolution chimique s'est poursuivie dans le domaine minéral, chacun des nouveaux éléments se formant à l'époque favorable, celle où se trouvaient réunies les diverses conditions nécessaires à lui assurer une architecture stable, donc durable. Selon toutes probabilités, chacune de ces réussites partielles a été le couronnement d'une longue suite d'essais restés infructueux avant l'existence du « climat » obligé, notion que nous retrouverons dans l'évolution des êtres organisés. Dans l'ordre des corps simples, il y avait une limite infranchissable : celle où les forces de dissociation de l'édifice électronique l'emportaient sur celles assurant sa cohésion. Limite un peu floue, et non rigoureusement définissable. Rien ne prouve, en effet, que la série se soit arrêtée strictement à l'Uranium, radio-actif et portant en soi le germe de sa propre destruction. Quelques éléments à semblable fragilité ayant existé en deçà, d'autres ont pu naître au-delà et constituer, à une certaine époque, les exemplaires d'une manière de *térotologie chimique*; mais, engagés, dès leur origine, sur la voie d'une fatale régression, ces éléments ont tôt disparu, sans laisser d'autres traces que des atomes plus légers, immédiatement réincorporés dans le domaine commun.

Dans l'ordre moléculaire, la limite a été reculée par la formation de « complexes » minéraux, parfaits ou imparfaits, et possédant, à un degré plus ou moins net, des propriétés distinctes de celles des constituants. Par plus d'un point, le domaine de cette chimie ressemble à celui des composés organiques.

Insister serait nous entraîner hors de notre sujet. Ce que nous devons retenir, c'est que l'évolution chimique, tout comme cela se constate dans l'évolution subséquente du vivant, a été déterminée par une *nécessité d'association*, régnant au-dessus de l'existence des électrons, des atomes, des molécules ou des individus, association qui est un facteur de durée, une barrière naturellement dressée contre la désintégration. Se grouper, ou disparaître à jamais, tel a été le souverain principe selon lequel se sont formées, aux différents étages qu'elles occupent dans le monde, les structures qui lui ont donné corps.

Spécificité atomique. — Chaque substance ne vit, n'existe, n'est sensible, perceptible que par un certain mouvement tourbillonnaire de ses atomes ou de ses électrons. Ce mouvement est spécifique de l'atome considéré. C'est une manière de « pas de vis », admissible seulement par un pas de vis équivalent, et donnant une personnalité à l'atome considéré, qui possède ainsi sa trajectoire spécifique, sa fonction spécifique. Certains assemblages peuvent être particulièrement sensibles à la lumière, d'autres à la chaleur ou aux rayons X. Le Fer, par exemple, est magnétique à un degré qui n'est atteint par aucun autre groupement électronique.

Il en est donc de l'atome comme du vivant : la structure particulière à chacun lui assigne une ou plusieurs vocations, fonctions déterminées. Il est peu possible ici de dissocier propriétés physiques et propriétés chimiques, qui sont étroitement liées les unes aux autres. Cette spécificité atomique n'a guère fait l'objet d'études systématiques, sur le plan pratique. Le sujet est vaste et mériterait mieux que les quelques lignes où nous sommes obligé de le tenir ici.

Prenons pour exemple l'atome de Magnésium. Sa propriété chimique essentielle est sa très forte affinité pour l'Oxygène. Le Magnésium, en raison de cette affinité, n'existe nulle part, dans la nature, à l'état de pureté et nous l'avons connu d'abord par son oxyde et par ses hydrates. Si nous passons en revue les applications industrielles du Magnésium, ou les réactions chimiques dans lesquelles ce métal ou ses composés interviennent, nous ne tardons pas à constater que, partout et toujours, la réaction utilisée met en jeu l'avidité du Mg pour O. C'est ainsi qu'en métallurgie, le Mg est un des principaux agents de désoxydation. C'est ainsi, également, que dans le moulage électrolytique du caoutchouc, on emploie une électrode en Mg pour absorber l'Oxygène dégagé pendant la cataphorèse et qui, se dirigeant vers le même pôle que le latex, aurait tendance à provoquer un dépôt spongieux, en place du dépôt recherché, homogène et à grain serré. C'est ainsi, encore, que la magnésie calcinée et le chlorure de Mg incorporés ensemble à la sciure de bois forment ce « ciment magnésien » qu'on substitue fréquemment, en raison de son impuiescibilité et de sa forte résistance à l'usure, aux ordinaires planchers de bois.

En somme, là où est présent le Mg, l'Oxygène est, selon les circonstances et selon les dispositifs en œuvre, absorbé partiellement ou en totalité. Le Mg est donc, avant tout, un puissant agent de réduction chimique et, accessoirement, par le fait qu'il empêche l'Oxygène de rester occlus dans les produits d'une réaction, il rend la matière plus serrée dans sa texture, plus homogène, plus dure et, partant, plus résistante. Transposée de toutes pièces dans le domaine de la Biologie, cette vue synthétique peut y apporter de précieux renseignements et jette une lumière non dédaignable sur nombre de phénomènes constatés dans le métabolisme constructif des plantes et des animaux, y montrant la raison profonde de l'intervention de l'atome Mg qui est, par destination, en même temps qu'un élément « antioxygène », un « densificateur » de substance.

La façon particulière dont nous venons de présenter le rôle physico-chimique du Mg peut aisément s'appliquer, tout au moins en ce qui concerne les éléments relativement légers — ceux intervenant presque en exclusivité dans les métabolismes du vivant — à d'autres atomes et aider à en circonscrire la spécificité propre. Il est même possible de l'étendre à certains radicaux ou à quelques groupements moléculaires se présentant fréquemment en Biochimie.

L'Oxygène est bien, comme a dit Lavoisier, « le comburant par excellence ». L'ancienne Physiologie en faisait un combustible et considérait que le « moteur animal » recevait son énergie de cet élément. Il y a exactement huit lustres que nous avons pris position contre cette manière de voir et nous sommes efforcé, à cette conception que nous considérons comme erronée, d'en substituer une autre, mieux en conformité avec les faits d'observation et d'expérience. Pour nous, les processus électro-chimiques constituaient la base essentielle du fonctionnement vital et, disions-nous, la chaleur animale n'était rien d'autre qu'un excrementum, utilisé à des fins de meilleur rendement, par les homéothermes. Dans ces conditions, transférer dans le comportement de l'individu le rôle rempli par l'oxygène dans un couple hydro-électrique, et le considérer comme un simple *dépolarisant*, empêchant l'accumulation des ions H à l'une des électrodes de l'appareil, il n'y avait qu'un pas à franchir. Ce que, dans notre enthousiasme,

siasme juvénile, nous avons fait allègrement. « L'organisme humain se dépolarise à l'oxyhémoglobine, écrivions-nous, comme la pile Leclanché se dépolarise au bioxyde de manganèse... » Opinion osée, pour l'époque à laquelle elle a été formulée, mais opinion qui rejoint celle des biochimistes modernes attribuant aux oxydations tissulaires un rôle de décrassage, rendu nécessaire par un encombrement d'ions H.

L'Oxygène ne peut plus, aujourd'hui, être considéré comme le grand maître de l'organisme. Dès qu'on s'emploie à rechercher, dans les mécanismes vivants, ce qui en constitue l'essentiel, l'irréductible, et à le séparer de ce qui en est seulement l'accessoire, on ne doit pas perdre de vue qu'il existe une anaérobiose. On doit aussi se remettre en mémoire ce qu'a dit A. Gautier, qui assignait aux oxydations organiques un rôle second, le premier étant tenu par les hydratations successives par lesquelles la molécule protéidique descend au stade uréique. Chez l'individu évolué, il y a deux métabolismes distincts, qui se juxtaposent et quelquefois s'intriquent; l'un est anaérobie, l'autre aérobie. Ce n'est pas le second, mais bien le premier qui est « de base ». Certains procès sont à réviser; celui dont nous parlons en est un, non sans importance.

Passer en revue tous les éléments chimiques, dans le but de leur attribuer leur rôle spécifique, serait sortir cet ouvrage du cadre restreint dans lequel les circonstances économiques actuelles le contraignent à se tenir. Nous ne parlerons, ni du Soufre qui vulcanise poils et cheveux comme il le fait pour le latex, se montrant ainsi avec des propriétés anti-oxygène, alors que dans d'autres circonstances il favorise les oxydations, ce qui oblige à le considérer comme un régulateur. Nous ne parlerons pas du Calcium et des ciments organiques. Nous nous bornerons à signaler l'intérêt, hors de conteste, que peut présenter une confrontation patiemment poursuivie entre les données de la chimie biologique et celles de la chimie industrielle. L'une et l'autre ne pourront que profiter grandement de ce contact.

Vieillesse, condensation, cristallisation. — Nous savons que la matière se fatigue et vieillit. En marche accélérée, ou dans un cours plus ou moins retardé, elle se dirige inexorablement vers sa désagrégation finale : dans certains cas, les temps

se comptent en fractions de secondes; dans d'autres, ils peuvent s'étaler sur des millions d'années. L'affaire peut traîner, s'éterniser, sa conclusion n'en est pas moins réglée par avance.

Tout se présente comme si l'inerte possédait, comme le vivant, ses ruses à lui. Pour l'inanimé, cette ruse est dans la cristallisation, mode stable d'assemblage des atomes. Mais l'état cristalloïde, sous l'apparence d'être immuable, n'en est pas moins transitoire : sous l'influence des éléments atmosphériques l'orgueilleux cristal de quartz se dissocie en modestes grains de sable. Et ceux-ci, à leur tour... *In pulverem reverteris.*

CHAPITRE IX

LE ROLE DE L'EAU

L'eau. — Parmi les composés étudiés en chimie minérale, il en est un auquel doit être réservée une place à part. *Corpora non agunt nisi soluta*, disait l'ancienne pharmacopée. Mais l'eau est quelque chose de mieux qu'un simple solvant : sans elle, il n'y aurait pas eu de vie possible. « La vie est née dans l'eau », affirment certains auteurs. Et, de fait, l'observation montre que la plupart des processus marqués par un travail intense de l'organisme débutent par une hydratation régionale plus ou moins visible, comme si l'eau était l'élément nécessaire, indispensable à la mise en route du processus.

Du point de vue de la Physique atomique, l'eau a, en ces dernières années, fait l'objet de fort nombreuses et remarquables études, dont nous ne pouvons donner qu'un très bref résumé. Ces recherches ont montré, comme le dit E. Darmois, que « l'eau est, autant dire, un individu unique en son genre ». Elle semble être constituée d'une molécule centrale se trouvant, en quelque sorte, *engagée* parmi les molécules voisines. Elle se présente sous un état pseudo-cristallin, c'est-à-dire avec une anisotropie qui est un facteur favorable à l'entretien et à la propagation des oscillations, aussi bien dans l'ordre mécanique que dans l'ordre électro-magnétique. La molécule d'eau possède un *moment polaire*, autre facteur favorable aux oscillations. On suppose, avec une certaine vraisemblance, que, dans la molécule, les atomes ne sont pas assemblés selon une ligne droite H-O-H, mais en

ligne brisée $\begin{array}{c} \text{H H} \\ \diagdown \diagup \\ \text{O} \end{array}$ et ce schéma est propre à faire comprendre

comment l'intervention d'une énergie étrangère, oscillatoire, peut introduire dans la molécule une dissymétrie dynamisante.

Il semble donc bien que Roentgen avait eu une vue prophétique lorsque, dès 1892, il indiquait que l'ensemble des propriétés exceptionnelles de l'eau pouvaient s'expliquer qualitativement en supposant que ce liquide est une solution saturée de glace dans une phase liquide de l'eau.

Si l'on se livre à une confrontation des données acquises dans chacun des deux domaines, physique et biologique, on voit que les faits constatés de part et d'autre sont susceptibles de s'éclairer mutuellement. Si, comme nous le verrons ultérieurement, le vivant se présente comme un curieux assemblage de propriétés contraires, l'eau nous en offre un autre exemple, en se montrant tour à tour comme un agent de mobilité et comme un agent d'immobilisation. Soupçonné et mal défini dans l'organisation colloïdale, le phénomène apparaît avec une plus grande netteté dans l'organisme vivant.

Quinton a pu, naguère, émettre une théorie selon laquelle le milieu intérieur de l'Homme n'était rien d'autre que le transfert intra-corporel de l'ancestral milieu marin. Cette manière de voir les choses est fort séduisante et si, en une certaine manière, on la peut tenir pour exacte, un examen poursuivi à une échelle plus fine, moléculaire, fait entrevoir d'autres phénomènes encore plus intéressants, en ce qu'ils touchent à ce qui est l'essence même de la vie. La Biologie sait aujourd'hui que l'organisme du vivant est un immeuble possédant « l'eau à tous ses étages ». Ces étages sont d'ailleurs à considérer en profondeur, à partir de l'individu regardé dans son ensemble, pour aboutir aux cellules dont il est un assemblage.

Principal constituant pondéral du corps (environ 66 % chez l'Homme, proportion pouvant s'élever au-dessus de 95 % chez les Rhizostomes), l'eau s'y présente avec une mobilité décroissante au fur et à mesure qu'on s'éloigne des périphéries pour s'enfoncer dans les profondeurs des organisations tissulaires. On reconnaît une eau circulante, une eau interstitielle et extra-cellulaire, une eau intra-cellulaire. Ces trois systèmes sont loin de présenter une stricte homologie.

L'eau circulante, contrairement à ce qu'on pourrait penser, n'est pas la plus importante par sa masse, puisqu'elle ne représente guère plus de 7,5 % du total hydrique, alors que les liquides

interstitiels en sont environ le quart et les intracellulaires, les deux tiers. C'est donc l'eau « dissimulée » qui est, de beaucoup, la fraction la plus forte de notre contenu aqueux.

L'eau circulante est celle du plasma sanguin et de la lymphe. Sa mobilité relative en fait un excellent agent de transport, assurant distribution et reprise de quantité d'éléments plus ou moins solubilisés. Solvant pour les cristalloïdes nécessaires à l'organisme (électrolytes et autres), elle est le dispersant des protéides qu'elle tient en phase liquide de suspension colloïdale. Elle est avant tout un distributeur, un répartiteur, un régulateur exerçant son action aussi bien sur les stocks de substances que sur les équilibres thermiques. C'est le Maître Jacques de l'affaire.

Déjà moins mobile est l'eau répandue entre les organes, retenue par les séreuses, amassée dans les espaces intercellulaires. Dans son état de quasi-stagnation, elle est, tout en même temps, une sorte de support amortisseur (un antichoc dans le genre des suspensions huileuses réservées aux appareils fragiles ou délicats réalisés en industrie) et une réserve, dans laquelle l'organisme puise au gré de ses besoins. Sur deux plans différents, l'eau est donc encore ici un équilibreur. Elle adapte la cellule au milieu (Achard).

Reste la plus forte masse liquide de l'organisme, celle qui est intracellulaire. On a l'habitude, physiologiquement, de la désigner comme une *eau liée*. Or, même sous le rapport physiologique, il y a là inexactitude ou exagération; si l'on se place sur le terrain chimique l'inexactitude ne fait que se marquer davantage. Que l'eau intracellulaire soit, quantitativement, la plus fixe du corps, c'est un fait d'observation, contre lequel il n'y a pas à revenir. Mais dans cette eau, il y en a une part, assurément la plus importante, pondéralement, qui circule activement à l'intérieur même de la cellule, comme sang et lymphe circulent dans les vaisseaux ou les espaces lacunaires. Cette eau est libre dans le petit espace qui lui est accordé, et elle dessert les besoins de la cellule, comme celle du plasma sanguin dessert ceux du corps tout entier. Reste une part, sans doute la moindre, non plus simplement prisonnière, mais reléguée. C'est, par exemple, celle qui est retenue dans les hydrogels cellulaires et qu'on ne

peut, *stricto sensu*, qualifier encore de liée, parce qu'elle n'atteint pas ce degré d'irréversibilité qu'est l'engagement dans une combinaison ou une pseudo-combinaison de grande stabilité. Elle peut encore jouer le rôle de tampon ou de réserve dont nous avons précédemment parlé, et s'extérioriser de son support, redevenir circulante, soit à l'intérieur de la cellule, soit en dehors d'elle, toujours sur quelque appel organique.

L'eau liée. — Reste une fraction de liquide aqueux, peu importante par sa masse, mais de valeur considérable par son rôle : celle-ci est vraiment liée, soit parce qu'elle est partie constituante de la molécule même d'un protéide, soit parce qu'elle est puissamment absorbée, pour ne pas dire combinée. Cette eau, c'est celle qui ne peut être exsudée que sous une très forte pression, capable de contrebalancer celle qu'elle développe elle-même dans son agrégation à une molécule.

Quant au rôle éminent de cette eau liée, nous le comprendrons aisément si nous adoptons les vues de Scala sur les colloïdes, en y joignant les constatations faites en quelques expériences récentes relatives aux modifications de la structure de l'eau, étudiée aux rayons X, dans les solutions d'ions. Il semble y apparaître des hydrates. Or, comme le signale E. Darmois, l'étude de la conductibilité montre que les ions hydratés s'insèrent sans dommage dans le quasi-réseau cristallin, alors que les non hydratés s'y comportent comme des corps étrangers. Nous saisissons dès lors le mécanisme par lequel s'accomplissent, au sein de la cellule, les combinaisons chimiques les plus variées. En chimie minérale, on rencontre une « eau de constitution », toujours présente en proportions définies, non seulement dans les cristaux, mais aussi dans des substances terreuses comme les argiles. Il s'agit d'une eau liée, ayant joué un rôle structurant dans la formation du cristal. Dans les réactions chimiques s'accomplissant chez le vivant, la matière inactive, celle que l'eau ne dissout pas, ou que la simple dissolution ne prépare pas en ions, c'est l'eau liée qui intervient pour en provoquer l'activation. Celle-ci ne se produit pas du seul fait d'une division en micelles venant augmenter la surface agissante, mais par formation de particules hydratées, qui acquièrent ainsi une mobilité semblable à celle des ions dans les électrolytes. Sans

cette eau, en effet, la matière, même divisée, resterait inerte, comme elle l'est après dessiccation. L'eau est donc le medium par lequel les corps insolubles ou non ionisables peuvent entrer dans le circuit vital : c'est l'eau liée aux micelles qui met celles-ci en situation propice aux remaniements chimiques dès qu'une cause adjuvante — lumenation, électrisation ou vibration nucléaire — apporte le facteur de dissymétrie ou de déséquilibre dynamique nécessaire au déclenchement de la réaction. En d'autres termes, c'est l'eau liée qui permet à des radiations exogènes ou endogènes d'être les agents déclenchants des destructions et reconstructions moléculaires par quoi s'instaure le métabolisme chez le vivant. Non ainsi préparées, les particules demeureraient indéfiniment intactes dans les agitations tourbillonnaires dont elles seraient animées sans autre résultat utile que de se sélectionner en trombes distinctes les unes des autres, ainsi qu'elles le font dans le moulinet à poussières de Weyher (1).

En résumé, dans l'organisme vivant, l'eau périphérique et labilement associée, celle des plasmas, rend des services d'ordre secondaire, non strictement nécessaires, quoique d'une très haute utilité. Ces liquides circulants sont des serviteurs, non des maîtres. Leur disparition partielle entraîne un ralentissement de la vie, mais non obligatoirement sa cessation rapide. A l'eau centrale et fixée, à l'eau véritablement liée, appartient le rôle capital et irremplaçable, le rôle primordial : sans elle, n'existe et n'aurait jamais existé une possibilité de vie.

Un mécanisme général. — Rapprochons les données précédentes de ce que dit R. Audubert au sujet des piles sensibles à la lumière. Pour cet auteur, c'est la dissymétrie engendrée par lumenation qui crée le passage du courant. Dans l'émission électronique de la surface recouvrant l'électrode de Cuivre oxydé, l'effet est le même qu'avec les albumines : effet positif

(1) Roger Charpentier, se basant sur le fait qu'en minéralogie la formule de certains corps minéralisés est toujours de forme $(M) + n(H_2O)$, le minéral et le liquide formant un tout insécable, envisage une *rétenion réticulaire* de l'eau, au sens cristallographique du mot, dans les tissus du vivant. Il suppose qu'un réseau de molécules d'albumines joue un rôle semblable à celui d'un réseau de molécules minérales dans un cristal. C'est là qu'est la rétenion d'eau dans l'ordre vital ou biologique. C'est là, dit l'auteur, que git le problème. Et nous sommes en plein accord avec lui.

ou effet négatif, selon qu'on utilise électrolytes oxydants ou électrolytes réducteurs. L'auteur se pose la question de savoir si l'effet photographique avec les sels d'Argent ne tient pas à la présence de gélatine ou de collodion : on est autorisé à répondre par l'affirmative si, parmi les innombrables théories cherchant à expliquer la formation de l'image latente, on prend en particulière considération celles qui tendent à faire intervenir les albuminates ionisants, à côté des halogénés.

L'eau est indispensable à la production des photopotentiels. Ce sont certainement les produits de sa dissociation qui sont les éléments principaux du mécanisme des couples photovoltaïques. La plupart des substances photosensibles sont des sels de métaux possédant plusieurs degrés d'oxydation, c'est-à-dire capables de jouer un rôle tampon dans des réactions d'oxydation et de réduction, remarque Audubert. Or ces réactions sont les plus fréquentes dans les métabolismes vitaux.

Sous l'action de la lumière, l'eau serait capable de fonctionner comme pile moléculaire, aux pôles de laquelle se produiraient les réactions ordinaires d'électrolyse, avec libération de H et de O. Ainsi, l'eau se présente comme le catalyseur-type, permettant à l'organisme d'accomplir ses synthèses et ses analyses chimiques. Il ne semble guère possible de ne pas tenir compte de telles indications lorsqu'on examine les problèmes relatifs aux diastases et aux divers biocatalyseurs des êtres animés.

Il s'agit donc bien d'un mécanisme physico-chimique très général, jouant aussi bien dans le domaine de l'inorganique que dans celui de l'organique, avec des effets, par ailleurs, fort différents. Ce nous est, en conséquence, une obligation de nous attarder un instant sur les substances renfermant, dans leur molécule, une eau liée, dissociée di ou bipolairement.

La notion du pH en Biologie. — Empruntée à la chimie physique par la biologie, la notion de pH nous prépare admirablement bien à comprendre en quoi consistent essentiellement les mécanismes vitaux. Elle nous permet, en effet, de montrer l'analogie de structure existant entre l'eau, la molécule protéique, la cellule et l'individu, où nous retrouvons toujours le même principe de bipolarité que dans l'organisation atomique.

Chez le vivant, les substances albuminoïdes, ou protéines, constituent des électrolytes renfermant simultanément dans leurs molécules des groupes acides et des groupes basiques. De tels corps sont dits *électrolytes amphotères* ou *ampholytes*. Un ampholyte simple, c'est-à-dire renfermant une seule fonction acide et une seule fonction basique (c'est, par exemple, le cas d'un acide aminé) possède deux constantes de dissociation; l'une est relative à sa dissociation acide, libératrice de cations H^+ , et la seconde à la dissociation basique, libératrice d'anions oxydrique OH^- , le reste de la molécule étant formé d'un radical-anion et d'un métal cation. Les deux courbes figurant respectivement les dissociations acide et basique, se coupent en un point dit *isoélectrique*, parce qu'en ce point, le corps présente au même degré les deux dissociations. Ce point est remarquable en ce qu'il correspond à des propriétés singulières des corps : agglutination maximum, minimum de viscosité, etc.

Considérons, par exemple, l'acide para-amino-benzoïque en solution dans l'eau. En tenant compte des dissociations qui se produisent au point iso-électrique, nous écrirons sa formule, non plus $C_6H_4NH_2OH$, mais :



Nous remarquons tout de suite que les deux éléments terminaux donnent un total équivalent à une molécule d'eau. Nous sommes donc fondés à dire que tout se passe comme si la propriété de comporter deux chaînons terminaux dont l'un est à fonction acide et l'autre à fonction basique, était apportée dans la molécule par l'eau qu'elle renferme. En d'autres termes, l'eau est un liquide neutre parce que la fonction acide de H^+ y est strictement équilibrée par la fonction basique de OH^- et l'eau ne représente qu'un cas particulier des ampholytes; ces derniers répondent, en effet, à la formule générale :



où il suffit de réduire R à zéro pour retrouver la formule de l'eau.

A notre connaissance, cet aspect particulier de la question ne semble avoir retenu l'attention de personne. Il est cependant capital pour une bonne compréhension des phénomènes

biologiques, car si l'eau est rigoureusement indispensable à l'apparition et l'entretien de la vie, c'est parce qu'elle est susceptible de se lier d'une manière labile et réversible à certaines molécules auxquelles elle apporte ainsi la propriété de devenir des ampholytes.

A. Gautier, qui a eu des vues extrêmement remarquables sur tous les phénomènes dont la cellule est le siège, s'est autrefois exprimé ainsi : « L'état amorphe ou colloïdal est la forme la plus habituelle des albuminoïdes. *Cette forme est*, d'après Graham, *une sorte d'état transitoire instable ou dynamique, dont l'état statique est la forme cristallisée*. En fait, les matières albuminoïdes sont aptes à se transformer sous les moindres influences : action de la chaleur et du froid, des gaz, des ferments, etc. Bien plus, leur simple dilution dans l'eau, l'agitation ou le repos, le passage à travers certaines membranes inertes, peuvent leur imprimer des changements profonds, tels que la solubilité ou l'insolubilité.

« De nature neutre, *faiblement unis* à une grande masse d'eau, ces colloïdes fluides ont une mollesse qui les rend propres, aussi bien que l'eau elle-même, mais *moins puissamment et moins brutalement qu'elle*, aux phénomènes de diffusion; ils sont lentement pénétrables aux réactifs, et leurs molécules servent d'intermédiaires perpétuels et comme d'*amortisseurs* aux plus délicates actions physico-chimiques. Passant elles-mêmes difficilement à travers les membranes, les matières albumineuses se conservent dans les cellules sans diffuser au dehors. On peut attribuer la lenteur des modifications qui se passent dans ces milieux ou par leur entremise, aussi bien à la difficile diffusion de ces corps qu'à la lourdeur de leurs molécules, à leur faible conductibilité pour la chaleur et l'électricité et à leur indifférence chimique. Le *temps* devient grâce à ces propriétés l'une des conditions des réactions qui se produisent dans nos tissus et nos humeurs, réactions qui se continuent sans secousses, successivement, lentement, assurant ainsi au fonctionnement des organes une progressive et incessante production d'énergie provenant de ces réactions affaiblies, mais continues. »

C'est intentionnellement que nous avons souligné certains termes de l'exposé d'A. Gautier, car ils éclairent sous leur vrai jour les phénomènes biologiques. Plus on étudie les organisations

vitales plus on s'aperçoit qu'elles sont, avant tout, des organisations de durée. Nous voyons, dès lors, comment l'eau apporte à certaines molécules la propriété ampholytique qu'elle possède de par sa constitution même, mais aussi comment cette propriété se trouve en quelque sorte *domestiquée* par la faculté d'amortissement qu'introduit la présence de cette *impureté* qu'est le restant R de la molécule albuminoïde : l'explosivité des réactions est remplacée par leur douceur; du même coup, leur instantanéité est comme *diluée* dans la série des temps. En définitive, l'eau apporte la puissance, et le reste de la molécule, la possibilité de ne point dilapider cette puissance et de la ménager pour en user le plus longtemps possible.

Il faut retenir le fait de cette sorte d'antagonisme bipolaire, car nous le retrouverons à chaque instant dans les fonctions vitales de la cellule, puis dans celles de l'individu tout entier, et nous montrerons que c'est dans le fait de la discussion — au sens mathématique du mot — qui s'établit entre éléments à tendance adverses ou complémentaires, entre éléments accélérateurs et éléments freinateurs que naît l'organisation vitale, tout entière soumise à la loi des réglages différentiels qu'entraîne l'action alternée de la puissance et de la résistance.

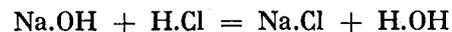
Nous l'avons déjà signalé : une automobile ne peut aller précisément d'un point à un autre que pour cette raison que son conducteur joue alternativement de la puissance de son moteur et de la résistance de ses freins : sans moteur la voiture ne peut avancer, comme sans frein elle court s'abîmer sur le premier obstacle qu'elle rencontre. Et tous les mécanismes au monde en sont là : ils ne peuvent produire un travail réglé et déterminé par avance qu'en obéissant au jeu différentiel des accélérations tantôt positives et tantôt négatives, qui les empêche de sombrer dans le *trop*, comme dans le *trop peu*, dans l'excès comme dans la déficience, dans la pléthore comme dans la carence. Vivre, c'est naviguer entre le Charybde de l'un de ces écueils et le Scylla de l'autre, sans jamais venir se perdre dans l'un ou s'échouer sur l'autre... Et la vie est d'autant mieux organisée que la possibilité des réglages y est plus fine.

En somme, ce qui paraît constituer une différence essentielle entre le vivant et l'inerte, entre l'organisé et le non-organisé,

c'est que le premier possède une constitution pendulaire et bilatérale, alors que le second n'a qu'une organisation unilatérale : entre certaines limites, le premier ne craint pas les chocs et les utilise même à entretenir son mouvement pendulaire; il *réagit* et rebondit là où le second est contraint de se limiter à *subir* et à se briser; le premier dure en utilisant ces mêmes impulsions qui font que l'autre se désagrège. Et tout cela dérive de la propriété ampholytique, qu'apporte avec elle l'hydratation, propriété tempérée par l'inertie qu'apporte le restant de la molécule protéique.

On comprend dès lors toute l'importance de la lutte qui se déroule autour du point isoélectrique, et l'on saisit aussi le rôle capital de ces fameux systèmes-tampons par lesquels sont amorties dans une large mesure les variations du pH sous l'influence des circonstances extérieures qui tendent à détruire l'équilibre acidobasique d'une organisation.

La solution dans l'eau d'un sel comme le chlorure de sodium provenant de la combinaison d'un acide fort avec une base forte, présente les mêmes caractères de neutralité que l'eau pure, ce qui est aisé à comprendre. Quand s'accomplit la réaction chimique entre la soude et l'acide chlorhydrique :



il se produit un regroupement plus stable des molécules que précédemment, parce que les éléments moléculaires y sont plus fortement liés les uns aux autres. On aboutit donc à la production de deux corps dont toutes les affinités des éléments composants sont utilisées, en quelque sorte, en circuit intérieur et ne présentent plus de disponibilités extérieures; le résultat en est l'apparition de deux corps chimiquement neutres, l'eau et le sel marin.

Au contraire, les solutions des sels formés, soit avec un acide faible, soit avec une base faible, présentent une réaction, alcaline dans le premier cas, acide dans le second, et ceci, par l'entrée en jeu de l'hydrolyse, c'est-à-dire de l'ionisation de l'eau. Appliquons cette donnée au cas du sang : le sérum sanguin peut être envisagé comme une solution de chlorure de sodium; comme nous venons de le voir, cette solution possède les mêmes caractères de neutralité que l'eau pure et, par suite, est facilement

influencable par les apports extérieurs d'acides ou de bases. Par contre le sang renferme également des bicarbonates et des phosphates qui sont susceptibles de s'hydrolyser facilement et, par là, constituent des systèmes-tampons. Il est aisé de constater, par l'énumération des ions libres dans la solution que la solution d'un sel hydrolysé renferme les ions de l'acide ou de la base dont ce sel dérive. Ainsi, une solution ionisée de bicarbonate de sodium renferme également de l'anhydride carbonique, parce que le bicarbonate, comme tous les sels à concentration basse, s'ionise pratiquement de façon complète, tandis que l'acide carbonique, acide faible, s'ionise extrêmement peu. Le mélange du sel d'une base forte et d'un acide faible, en présence de cet acide, va constituer un tampon et c'est l'*ionisation de l'eau*, en somme, qui fait les frais des dispositifs tampons, comme elle fait aussi ceux des métabolismes vitaux.

Au mélange de bicarbonate de sodium et d'acide carbonique, ajoutons un acide fort; ce qui se produit est une simple mutation de place des deux cathions présents : H^+ quitte l'acide pour se rendre sur le sel, tandis que Na^+ quitte le sel pour se rendre sur l'acide. Il en résulte la production d'acide carbonique d'une part, et de chlorure de sodium, d'autre part. Autrement dit, un acide faible s'est automatiquement substitué à l'acide fort. De même, l'adjonction d'une base donnerait lieu à mutation entre les ions H^+ et K^+ , de telle sorte qu'il y aurait production de carbonate de potassium et d'eau, c'est-à-dire substitution d'une base faible à la base forte ajoutée.

Aux effets donnés par les bicarbonates s'ajoutent, comme on sait, ceux fournis par les phosphates et les protéinates, mais il est inutile que nous insistions sur ce point.

En résumé, sans le phénomène de l'*ionisation de l'eau*, rien ne serait de ce qui est doué de vie. Et l'eau est à la base de la vie parce qu'elle est le composé chimique le plus simple qui soit susceptible de se dissocier en deux éléments, Hydrogène et Oxhydre, jouissant de propriétés inverses. De telle sorte qu'un esprit généralisateur serait tenté de considérer l'eau comme un liquide vivant réalisant la première symbiose, celle de l'élément acide H^+ et de l'élément alcalin OH^- .

A un échelon supérieur d'organisation, nous retrouvons dans

la molécule d'albumine, grâce à la dissociation de l'eau, cette même conjonction intime de l'acide et de la base, cette même bipolarité caractéristique de la vie, mais d'une vie déjà mieux réglée et plus durable.

Les travaux de A. Scala sur la micelle colloïdale ont montré que, dans tous les colloïdes, l'acidité et l'alcalinité existaient à l'état potentiel. Nous voici donc autorisés à interpréter les manifestations vitales comme des variations pendulaires, des oscillations justement réglées dans l'état de santé, entre les états acidosiques et les états alcalins.

Une loi méconnue. — Étudiant le phénomène de l'extraction du salpêtre, Berthollet avait remarqué que, au fur et à mesure de l'enrichissement du dissolvant en sel, la terre se refusait davantage à livrer le salpêtre, alors qu'un dissolvant neuf, pur, surmontait aisément cette résistance. La nécessité d'employer une nouvelle eau bien avant que la première fût saturée, lui fit conclure que la force de dissolution n'était pas absolue, mais qu'il y avait dans ce phénomène un balancement, un antagonisme de forces contraires. D'où il tira cette loi : *Toute réaction chimique ne peut se poursuivre que si les produits engendrés par elle sont, ou volatils, ou insolubles.*

Cet énoncé revient à dire que, si les produits sont solubles dans le milieu où s'accomplit la réaction, il faut, mécaniquement ou chimiquement, les sortir du champ des opérations, au fur et à mesure de leur production, faute de quoi, la réaction ne tarde pas à se bloquer.

Ce simple fait, qui est d'application universelle en industrie, semble avoir été trop souvent perdu de vue en Biochimie. Un feu s'éteint sous l'accumulation des cendres qu'il produit, une électrophorèse s'arrête quand le dégagement des bulles gazeuses à l'une des électrodes y forme un matelas isolant et coupe le courant. En chimie biologique, on est amené à constater, à chaque instant, que l'un des procédés de réglage des métabolismes réside dans les ralentissements imposés par la stagnation des produits sur le lieu même de leur élaboration. Dans l'ordre mécanique, c'est la circulation des liquides plasmatiques, et dans l'ordre chimique, l'intervention des corps dépolarisants

(O, Cl, etc.) qui veille au désencombrement des points d'activité métabolique. Il y a donc là un mode de réglage différentiel, très nuancé, et dont l'organisme use continuellement.

Il est à remarquer que la loi de Guldberg et Waage, loi d'action des concentrations moléculaires, se rattache à la loi de Berthollet, dont elle n'est qu'un corollaire précisant la constante d'équilibre dans une réaction réversible (ce type est celui de la plupart des réactions métaboliques) lorsque aucun dispositif n'intervient pour dégager, lors de leur apparition, les molécules du composé formé avant que soit atteint l'équilibre.

Rôle mécanique de l'eau. — Nous ne pouvons terminer ce chapitre consacré au rôle de l'eau dans un organisme vivant, sans rappeler en deux mots que le taux d'humidification tissulaire règle, ou localement, ou généralement, le *tonus* organique.

La turgescence est assurée par une imbibition augmentée, la flaccidité par une imbibition décroissante, c'est donc par son incompressibilité naturelle que l'eau assure une certaine rigidité mécanique à l'ensemble des tissus qu'elle imprègne en quantité suffisante.

CHAPITRE X

BIOPHYSIQUE

Un « no man's land ». — Ce qui fait la difficulté, lorsqu'on cherche à appliquer les lois de la mécanique et de la physique classiques aux phénomènes dont le vivant est le siège, c'est que, la plupart du temps, on se trouve face à des processus qui se refusent, par quelque côté, à entrer dans le moule tout préparé qu'offrent les données usuelles. De là à conclure que les manifestations de la vie sont d'une effroyable complication, il n'y a qu'un pas, trop vite et trop souvent franchi. La vérité est que les phénomènes de la vie sont, comme tous les autres ne la concernant pas directement, d'une complexité déroutante, souvent difficile à résoudre en facteurs simples. Mais déterminer, dans le cadre de la Physique nucléaire, par exemple, ce que peut être la structure d'un liquide, ou concevoir, réaliser et mettre au point un appareil de radiovision, ou encore, construire une de ces machines modernes dont l'automatisme se substitue à une pensée humaine d'une qualité déjà élevée (appareils à statistiques ou appareils à résoudre des équations du n^{e} degré), croit-on que cela soit besogne simple? L'étude de la vie n'est ni mieux, ni plus mal placée que celle des autres branches de la science. Le vrai effort de la recherche, c'est de coordonner dans la masse des faits épars, de mettre en valeur les liens qui se peuvent établir entre phénomènes apparemment disparates, c'est d'œuvrer à disposer les acquisitions nouvelles dans un ordre logique et susceptible de procurer quelque repos à l'esprit curieux qui s'est aventuré à la découverte de territoires inconnus de lui.

La vie, regardée en tant qu'annexe du domaine physico-chimique appartenant à la matière brute, présente ceci de déconcertant qu'on ne s'y trouve face à aucune situation vraiment

franche. Si l'on se tourne du côté des matériaux, on voit que la vie s'emploie à édifier des constructions durables avec des corps qui seraient tous à rejeter si l'on prenait à la lettre les enseignements fournis par les anciens traités de Résistance des Matériaux; elle travaille bien plus souvent dans le plastique que dans l'élastique, dans le mou que dans le solide, dans le pâteux que dans le consistant. Examine-t-on ses processus électriques? On n'y retrouve point l'ordinaire jeu des lois posées en Electrodynamique, ou en Electrostatique, car la vie s'est placée dans le « no man's land » n'appartenant, ni à l'une, ni à l'autre de ces deux disciplines; elle n'emploie ni courants continus, ni courants sinusoïdaux, mais des déplacements de charges, se succédant par trains. Se tourne-t-on vers ses conducteurs ou vers ses isolants, on constate que les premiers sont dotés d'une affligeante résistivité et que les seconds, en raison de leur texture aqueuse, ne fournissent qu'un isolement assez précaire. Et ainsi de suite...

En somme, il semble, à regarder superficiellement les choses, que la Nature se soit plue à jouer la difficulté, ou bien que, tout au contraire, elle se soit contentée d'un matériel de rebut ou ait consenti à s'habiller avec des « laissés pour compte ». Un regard plus attentif remet tout au point. Il révèle que les réalisations vivantes sont des réussites forçant l'admiration, et que, en fonction des voies et moyens dont la Nature disposait, il n'était guère possible de faire mieux sous tous les rapports, — rendement, souplesse et économie de fonctionnement, durée, etc. Tant est, que le constructeur y peut puiser de substantielles leçons.

Notre but n'étant pas de présenter ici un Traité de Biologie, mais seulement d'apporter quelques suggestions capables d'orienter un travail de recherches, nous ne pouvons consacrer que peu de place aux questions concernant les colloïdes, l'osmose, la tension superficielle, la catalyse, l'électrophorèse, etc. Aussi bien, les ouvrages sont nombreux, et d'excellente valeur, qui traitent de ces divers sujets. Nous nous limiterons à exposer brièvement les points sur lesquels nous nous sommes formé quelque opinion personnelle.

Élasticité et Plasticité. — Il n'y a pas de vraies substances solides dans le corps du vivant. Mais, dira-t-on immédiatement,

et l'os? et la dent? et le tronc de l'arbre? Simples artifices... Il est bon que nous nous expliquions.

La déformation élastique d'un barreau d'acier est celle qui, après cessation de l'action déformante, permet à ce barreau de revenir, dans sa forme et ses caractéristiques physiques, à son *statu quo ante*. Quand la limite d'élasticité est franchie par une action trop brutale, survient la déformation permanente. Une substance plastique n'est, en principe, susceptible que d'une déformation permanente. Cela, c'est la théorie. Du point de vue pratique, qui est celui des réalités, la malléabilité et la ductilité des métaux sont là pour nous montrer combien est précaire la barrière dressée entre les deux états d'élasticité et de plasticité. Il y a les circonstances, il y a le facteur Temps, il y a les chocs brusques et les pressions lentes, il y a la répétition plus ou moins fréquente des efforts auxquels est soumise la matière, et puis, il y a aussi les matériaux relativement simples dans leur composition et ceux à structure complexe, si bien que le constructeur se trouve souvent dans l'obligation de ne considérer que des cas d'espèces, l'entrecroisement des lois menant, dans l'application, vers une inextricable complication. De telle sorte que, si l'on veut s'élever au général, il ne faut regarder que des ensembles, et encore faut-il le faire d'assez loin pour ne pas se perdre immédiatement dans des détails sans importance.

Ces remarques faites, nous persistons dans l'affirmation que le vivant travaille uniquement dans le plastique. Il y naît, il s'y façonne, il s'y développe. Mais, aussi bien chez les individus que dans les espèces, les genres, les règnes tout entiers, l'évolution normale, le vieillissement se traduit en intériorisations et durcissements progressifs. Dans l'apparition des scléroses, il est difficile de tracer une frontière bien définie entre ce qui est le normal et ce qui ne l'est pas, entre le physiologique et le pathologique. Ici encore, il faut voir les choses de haut : L'os est une production normale, la calcification des artères rentre dans l'anormal. Mais entre ces deux extrêmes, il s'offre une infinité de nuances. L'essentiel est que l'évolution a fait successivement apparaître les tests, les carapaces, les coquilles, et toutes ces défenses extérieures des Invertébrés, puis ensuite, cette armature intérieure qu'est le squelette des Vertébrés : durcissement

dirigé. L'essentiel aussi, c'est que l'individu, après avoir débuté son existence dans une plasticité, une souplesse adaptative lui ayant permis de modeler ses formes jusqu'à obtention d'une sorte de perfection et d'une harmonie optimum, tend à s'y fixer définitivement, à s'y cristalliser par une lente solidification : du cartilage il est, par substitution, passé à l'os et ce dernier n'a cessé de se calcifier, de se densifier toujours davantage, en même temps que le reste de ses tissus marchait vers une déshydratation sans cesse plus accentuée.

Mais ces étapes du vieillissement sont-elles le seul apanage du vivant? Et ne les retrouvons-nous pas chez l'inanimé? N'a-t-on pas commencé par connaître une certaine fatigue des métaux? Ne sait-on pas que, sous l'influence des vibrations et des chocs répétés les essieux des wagons ou ceux des voitures mal suspendues voient la texture, primitivement fibreuse de leur métal, s'orienter en files cristallines où apparaissent des lignes de clivage déterminant, un jour ou l'autre, le bris de la barre? N'a-t-on pas étudié la vie du verre, colloïde apparemment amorphe ou liquide surfondu, qui perd petit à petit sa transparence et ne reste que translucide lorsque, par vieillissement, sa masse se forme en écailles cristallines disposées en couches stratifiées? N'a-t-on pas élargi la question, en une recherche systématique des transformations subies, au cours des âges, par les substances vitreuses, et examiné ainsi le devenir possible de quantité de matières, depuis le Soufre mou, d'abord plastique et finissant vitrifié, puis cristallisé, jusqu'aux oxydes, à certains sels inorganiques, pour terminer par les sucres? Et le commun, enfin, ne parle-t-il pas de la « mort » des opales, cette variété colloïdale du quartz, à qui le temps fait perdre sa translucidité et son éclat, en y substituant un aspect laiteux, précurseur d'un retour vers l'état cristallin?

Le spectacle est différent si l'on jette un coup d'œil sur le corps de l'animal; on est obligé de constater qu'il offre le spectacle intégral d'une revanche du « mou » sur le « dur ». Qu'on y réfléchisse bien, ne semble-t-il pas que ce soit une véritable gageure que cette réalisation de la nature, dans laquelle un assemblage de matériaux comportant un pourcent d'eau extrêmement important résiste à des efforts et accomplit un ensemble de

travaux, se renouvelle, se répare et dure plus qu'aucun autre assemblage au monde? Relativement, bien entendu.

Mais le vivant trouve sa défense dans le fait qu'il plie et ne rompt pas. Pour lui, dans une certaine mesure ou entre de certaines limites, tous les chocs et toutes les déformations sont élastiques et il semble particulièrement protégé contre les déformations permanentes : il se maintient dans sa morphologie générale en « encaissant » le coup, en intériorisant l'énergie du choc, en la remaniant au moyen de ses amortisseurs et en l'adaptant à ses besoins internes comme à ses besoins externes, il opère des mutations énergétiques, procède à des édifications nouvelles dans son ambiance et son cercle d'action, et tous ces mouvements, tous ces échanges constituent l'essence même de son existence d'être organisé, de sa vie.

La conclusion se tire de soi : l'évolution vers la stabilité cristalline est un des processus naturels qui se manifestent plus ou moins vite chez le vivant comme dans la matière brute. La seule différence est que la matière brute, dans la généralité des cas, rejoint cet état en un laps de temps qui peut être extrêmement court, alors que le mûrissement de l'organisé est parfois fort retardé, ses colloïdes étant protégés par des stabilisateurs fort efficaces, tels que les mucus. Dans l'état de plasticité qui est en quelque sorte celui d'indifférence moléculaire, les matériaux sont rapidement prêts à obéir aux sollicitations des champs énergétiques vitaux. Dans la plasticité la morphologie est labile, prête à devenir dieu, table ou cuvette. Dans l'élasticité, la morphologie acquiert une certaine permanence. La première se défend par son adaptabilité, la seconde par sa fermeté.

Osmose. Electro-osmose. — Les phénomènes d'osmose en Biologie ont fait l'objet d'un très grand nombre d'études et nous n'avons rien à en dire qui ne puisse se trouver ailleurs. Tout au plus, voulons-nous signaler que les « Cellules électro-osmotiques » industrielles, par lesquelles on obtient de l'eau chimiquement pure, à froid et sans distillation, et par lesquelles, également, on purifie les sérums, les colles ou les mélasses, les argiles, les kaolins, on dessèche les tourbes ou accélère les opérations de tannage, ces cellules qui travaillent par sélection localisée ne sont qu'une reconstitution, à l'échelle industrielle, d'un procédé

naturel, auquel les cellules de l'organisme font constamment appel. Rien n'est plus instructif, pour un Biologiste, que d'étudier comparativement le fonctionnement des cellules électro-osmotiques, en usine d'abord, sur le vivant ensuite. En toute dernière analyse, il s'agit, dans l'un et l'autre cas, de l'utilisation, à des fins déterminées, des courants tourbillonnaires, dans lesquels sont « repêchées, au passage, les substances qui sont, soit à éliminer du milieu, soit à stocker pour d'ultérieurs usages.

Catalyse. — Nous avons précédemment signalé que l'eau n'agissait pas seulement, dans l'organisme, comme un solvant, mais aussi et surtout, comme un catalyseur permettant, à la fois, d'abaisser la température à laquelle peut se produire une réaction et d'activer certaines matières qui, sans ce secours, demeureraient en état d'inertie chimique. Grâce à son riche arsenal de catalyseurs organiques, le vivant réalise, à la seule température de son corps, toute une série de combinaisons que le laboratoire réussit à reproduire, mais au prix de quel appareillage, de quelles manipulations et de quelles dépenses énergétiques! La Nature possède encore une belle avance sur l'Homme.

Mais une question se pose. L'arsenal des catalyseurs organiques est-il si riche qu'on le croit? On peut émettre un doute sur l'existence, autre qu'extemporanée, d'une bonne partie des substances en *ase* dont le flot s'augmente de jour en jour, et dont chacune est supposée posséder une activité de spécificité assez étroite pour que chaque mutation chimique nécessite son catalyseur particulier. Cela représente un matériel bien considérable, peu en rapport avec la simplicité habituelle des moyens naturels. L'avenir nous fixera sur ce point.

Les processus électriques chez le vivant. — Que, même en dehors des phénomènes d'ionisation, l'électricité joue un rôle de tout premier plan dans les processus vitaux, c'est ce dont on se doutait depuis longtemps. Et cependant, nos connaissances en matière d'électricité biologique restent encore fort rudimentaires. D'où peut donc provenir un tel retard? De notre formalisme scientifique, de notre répugnance à nous écarter des textes précis, de ce qui nous a été enseigné, de notre foi en des dogmes que nous supposons intangibles. Au lieu de chercher à

nous rapprocher des phénomènes, et à modifier nos théories en conséquence, nous avons trop souvent tendance à vouloir asservir les phénomènes aux cadres artificiels créés par l'enseignement.

Plusieurs générations de physiologistes n'ont point voulu croire à la nature électrique de l'influx nerveux, sous prétexte que ce dernier se propageait à une vitesse trop basse pour que l'assimilation fût possible. Nous pensons, au contraire, que les effets de condensation peuvent suffire à expliquer la lenteur de l'influx et que l'hétérogénéité de la matière dont est constitué un être vivant donne, du point de vue électrique, une certaine primauté aux phénomènes de condensation.

En fait, l'étude de la biologie nous entraîne dans un domaine essentiellement nouveau, nous obligeant à réviser les notions que nous avons pu acquérir dans l'enseignement classique de l'électricité, où l'on raisonne de tout comme si les conducteurs étaient aussi conducteurs que possible et les isolants, aussi isolants que possible.

Il n'y a pas si longtemps, d'autre part, qu'on a commencé à combler le fossé séparant, du point de vue didactique, l'électrodynamique de l'électrostatique et qu'on assimile un courant à un déplacement de charges, avec expériences démonstratives à l'appui. Et ainsi de suite. Le résultat en est qu'il n'y a peut-être aucune science qui soit, dans son essence, à la fois aussi connue et aussi méconnue que la science électrique. C'est pourquoi, nous estimons que l'étude du vivant est propre à rectifier beaucoup d'idées erronées et à diriger les recherches vers des voies fécondes.

L'eau, avons-nous vu précédemment, est l'élément indispensable aux manifestations vitales; la structure colloïdale des tissus leur permet de comporter des teneurs en liquide qui dépassent souvent les trois quarts de la masse totale de matière dont ils sont formés. Dans ces conditions, il est de toute évidence que la substance vivante ne peut prétendre à constituer, ni un excellent conducteur, ni un isolant parfait. Tout au plus pouvons-nous dire, en raison de son hétérogénéité, qu'elle est un assemblage de semi-conducteurs et de semi-isolants : semi-conducteurs, parce que l'eau tissulaire est plus ou moins saline et impure; semi-isolants, parce que toutes les matières plastiques constitu-

trices de nos organes peuvent, à l'état sec, dresser un sérieux obstacle au passage du courant, mais sont, dans l'état de vie, suffisamment humidifiées pour faire tomber assez bas leur pouvoir inducteur spécifique.

Utiliser des transports de charges électriques et des effets de condensation avec d'aussi piètres moyens de conduction, d'une part, et d'isolement, d'autre part, cela peut sembler une gageure et ne peut, apparemment, conduire qu'à un rendement énergétique déplorable. Or, il n'en est rien. Par quel mystère?

Sans réfléchir à ce fait que si le rendement de la machine animale était aussi bas qu'on veut le faire dire à certaines expériences de physiologie trop imprégnées d'esprit thermodynamique, aucun être vivant ne serait viable, on continue à enseigner et à propager d'assez fâcheuses contre-vérités. Et si le rendement de l'appareil animal est bien meilleur qu'on ne le pense généralement, s'il est parfaitement satisfaisant, en dépit de conditions physiques qui semblent être parmi les plus défavorables qui soient, cela tient tout simplement au fait que les énergies employées sont rythmées : elles ne s'emploient jamais d'une manière continue, mais par impulsions successives, par trains, par éjaculations, par pulsations où, dans chaque période, l'intervalle de repos est toujours plus important que le temps réel d'action.

Nous nous sommes déjà expliqués sur cette sorte de revanche prise par la Nature sur la puissance vive, lorsqu'elle met à son service les impulsions et les quantités de mouvement et nous avons dit quelques mots de l'économie de moyens représentée par un tel procédé. Ces impulsions successives, entrecoupées d'états d'abandon, constituent un point très curieux des mécanismes vivants. Ils se répètent à tous les degrés des manifestations énergétiques animales ou végétales, aussi bien dans les mouvements rythmiques du cœur que dans l'ascension de la sève, aussi bien dans le tonus musculaire que dans le vol de l'oiseau ou la marche de l'homme. Les enregistrements réalisés de la chronophotographie de Marey à l'ultracinéma moderne nous ont apporté sur ce sujet des indications remarquables et des données tout à fait nouvelles, précieuses pour tous ceux qui estiment trouver, dans les mécanismes naturels, des modèles dont nous avons tout intérêt à nous inspirer.

C'est ainsi, pour ne citer qu'un seul exemple, que pendant le battement des ailes de l'insecte, il existe une période passive, au cours de laquelle l'animal tombe, sous l'effet de la pesanteur, d'une certaine hauteur, et une période active, au cours de laquelle il regagne l'altitude perdue, en fournissant un travail qui se répète un nombre plus ou moins grand de fois, suivant la fréquence des coups d'ailes. Magnan et Sainte-Lagüe ont constaté que la puissance nécessaire au « volateur » pour se maintenir à l'altitude moyenne constante était liée au nombre de battements, et d'autant plus faible que ce nombre était plus grand.

Électricité et mouvements tourbillonnaires. — Ce qui demeurera comme un profond sujet d'étonnement pour nos successeurs, c'est le temps extrêmement long qui est nécessaire pour qu'une idée, si juste et si frappante soit-elle, parvienne à prendre sa place dans la science. Il nous est fréquemment arrivé, comme nous vous en avons ici même donné le conseil, de retourner aux sources : de cette exploration rétrospective, nous sommes chaque fois revenu avec la conviction bien nette que les fondements de la science reposaient sur des bases beaucoup plus anciennes qu'on ne le suppose généralement. La pénétration des concepts nouveaux à travers les intelligences humaines est d'une lenteur qui défie toute comparaison. Et la science électrique, qu'on croit généralement de date récente, et de formation extrêmement rapide, n'échappe pas à cette règle. Ce qui a marché vite, ce sont tous ces développements mathématiques dus au génie de deux ou trois hommes de la trempe des Leblanc, des Blondel et de quelques autres; les applications pratiques ont immédiatement suivi. Mais, à y bien réfléchir, la science électrique, c'est-à-dire la connaissance des causes profondes qui régissent la formation ou la nature des champs de force ou les phénomènes d'induction, cette science n'a pas progressé dans la même proportion.

Il est tout en même temps extraordinaire et navrant de voir combien est grand le nombre des ouvrages qui ont été publiés, quelle est la somme de talent qui s'y est dépensée pour produire des théories en concordance parfaite avec tous les faits connus et susceptibles de nous faire pénétrer plus profondément dans l'intimité des phénomènes, et de constater que tout cela a été

édifié en pure perte. Disant cela, nous entendons faire plus particulièrement allusion aux théories tendant à assimiler complètement les processus électriques aux mouvements tourbillonnaires. Il semble bien qu'il soit impossible de mieux relier les faits entre eux, de mieux en faire apparaître la coordination et l'interdépendance, de mieux mettre en lumière le jeu subtil de la Nature que cela est réalisé dans de telles conceptions. Cependant, elles restent encore lettre morte, ce qui est tout bonnement inconcevable. Il semble que, de propos délibéré, on veuille se priver de clarté, de simplicité, de juste compréhension des phénomènes. Puissent les considérations que nous avons développées dans un chapitre précédent avoir convaincu celui qui viendra en rénovateur parer de formes nouvelles et plus seyantes des acquisitions qui gagneraient à être plus clairement présentées.

L'étude morphologique des étincelles, des micro-étincelles, de la foudre s'en va, pour celui qui pense toujours aux girations inséparables des translations dans les mouvements matériels, retrouver celle des mouvements browniens, des champs électromagnétiques, des trajectoires brisées « par effet sur bande » et de quantité d'autres manifestations qui peuvent toutes rentrer sous une seule et même loi.

Étincelles. — En résumé, les processus électriques chez le vivant sont conditionnés par deux faits de haute importance : le premier est qu'il s'agit de décharges se succédant en « chapelets », donc analogues à des courants pulsés; le second est que l'organisme est constitué comme un vaste assemblage de condensateurs, ceux-ci soumis à des fuites importantes à travers leur diélectrique, qui contient obligatoirement de l'eau (1).

(1) En réalité, les systèmes condensateurs qui se présentent dans l'organisme vivant possèdent deux caractéristiques essentielles, les distinguant nettement des condensateurs industriels ou de laboratoire. Les phénomènes qui s'y déroulent s'apparentent davantage à ceux qui se produisent dans les isolants de câbles sous-marins. Nous en avons établi autrefois la théorie. La dispersion des charges à travers le diélectrique fait que la charge du condensateur, à chaque instant, suit une loi exponentielle. Si, en sus, on suppose que le diélectrique est élastique comme dans la Balance de Thomson, il y a, à la fermeture du courant, rapprochement des armatures, suivi d'un écartement définitif, l'effet de conduction arrivant à surclasser celui de condensation. Les armatures ne peuvent être maintenues à un rapprochement constant que si le système est alimenté par des courants intermittents, de caractéristiques appropriées au dispositif considéré. Le fait le plus remarquable, celui sur lequel il convient de porter toute son attention, c'est que le condensateur à diélectrique élastique et semi-conducteur est un résonateur, ce qui pourrait lui assurer

Il n'est donc aucunement étonnant que, dans la morphologie des êtres, se rencontrent si fréquemment des formes d'étincelles. Ces formes sont les traces matérielles des processus énergétiques qui les ont engendrées, laissant derrière eux le dépôt des substances entraînées par leur mouvement. En Biologie, ces étincelles permanentes, figées, portent le nom d'arborescences. En apparence, elles échappent à cette morphologie tourbillonnaire que nous nous sommes précédemment efforcé de mettre en valeur. Regardons, cependant, les faits d'un peu plus près. Dans le vide et sur un court trajet, l'étincelle est rectiligne, se réduisant à un simple tube-tourbillon. Mais, en atmosphère ordinaire et sur une plus longue distance d'éclatement, entre en ligne de compte l'hétérogénéité du milieu et, principalement, les particules de poussières diverses. Ce facteur de perturbation, par les obstacles qu'il dresse, ici et là, devant la progression de la décharge, oblige celle-ci à se diviser et à cheminer sur les lignes de moindre résistance qui s'offrent à elle. Elle s'étale et se résout en filets, comme une nappe d'eau étendue sur un sol en faible déclivité.

Électrophorèse. — Il n'est pas exagéré de considérer le corps d'un être vivant comme une vaste entreprise d'électrochimie. Une électrochimie, non pas poursuivie dans la seule intention de recueillir des matières amorphes ou des dépôts se moulant exactement sur le support offert par une électrode, mais s'employant sur des groupes de substances qui se déplacent, s'associent ou se repoussent mutuellement, s'amassent en des points d'élection, se lient les unes aux autres en un ensemble harmonieux et, finalement, parviennent à constituer tissus, appareils, organes. Ici, la forme est inséparable de la matière qui la rend sensible à nos yeux, et il est profondément regrettable que la chimie industrielle n'ait pas eu à s'inquiéter de cet aspect de la question.

Par contre, si l'on consulte les études entreprises au sujet de l'électrophorèse du latex et si l'on fait une recherche parmi les

de nombreux emplois industriels. Ajoutons, pendant que nous sommes sur ce sujet, qu'un couple hydro-électrique à vase poreux élastique jouit de propriétés semblables et débite, non pas un courant continu, mais des courants intermittents, ce qui n'est pas non plus sans intérêt.

nombreux brevets pris à cette occasion, on peut récolter une ample moisson de renseignements d'une incontestable utilité en Biochimie. On sait que le latex, maintenu en suspension colloïdale par adjonction d'une faible quantité d'alcali, s'y maintient en globules d'un diamètre moyen de deux microns. Ces globules se dirigent vers l'anode et sont donc chargés négativement. En dehors du dépôt de caoutchouc, il se produit également à l'anode un dégagement d'Oxygène, phénomène fâcheux, déterminant des oxydations indésirables et rendant le dépôt poreux. Les procédés auxquels l'industrie a eu recours pour faire disparaître cette difficulté présentent presque tous un puissant intérêt pour le Biologiste. On a préconisé, tour à tour, l'emploi d'anodes oxydables (Mg, Cd, et surtout Zn), l'adjonction dans le bain de substances plus oxydables que le caoutchouc (Pyrogallol) ou d'ions se déchargeant avant les ions OH et ne produisant pas de méfaits (S, SH, qui permettent une vulcanisation « à cœur »), le recours à des substances des groupes naphtyls, etc., etc. Pour régulariser le dépôt et lui assurer une homogénéité parfaite, on a songé à communiquer à l'anode un mouvement vibratoire, comme on le fait pour accélérer et améliorer la prise des bétons armés; on a également songé à employer des courants intermittents, comme ceux de l'organisme vivant. Pour augmenter la dureté du dépôt, on a préconisé l'addition d'électrolytes ayant des cations polyvalents par exemple Ca Cl₂, qui accroissent la coagulation, et des anions, également polyvalents, tels que les ferrocyanures alcalins ou les phosphates.

Cette source, où nous n'avons prélevé que de menus échantillons, est d'une étonnante richesse, en qualité comme en quantité. Et ce nous est une occasion d'en signaler une autre, presque aussi remarquable : les études entreprises sur les phénomènes de corrosion...

DEUXIÈME PARTIE

LE VASTE DOMAINE DE LA BIOLOGIE

CHAPITRE XI

OBJET DE LA BIOLOGIE

Qu'est-ce que la vie? — De tout temps et en tous lieux, la pensée humaine s'est ardemment dirigée vers les problèmes de la vie. N'est-il pas naturel, chez un homme enclin à la réflexion, que se manifeste un penchant particulier à tenter le déchiffrement des énigmes posées par le fait même de sa propre existence? *D'où venons-nous? Que sommes-nous? Vers quoi allons-nous?* Autant de questions que notre curiosité native est impatiente à résoudre, autant de points d'interrogation qui restent posés, en dépit des immenses progrès accomplis par le savoir des présentes générations.

Force nous est bien d'avouer que la science de la vie, la Biologie, en dépit des efforts qu'elle y a consacrés, demeure aujourd'hui encore dans l'incapacité de produire une définition parfaitement appropriée au phénomène naturel dont elle étudie les manifestations. La place nous manque pour citer et commenter les essais infructueux de tant d'éminents auteurs, philosophes ou savants, ayant tenté sans succès de fournir une solution acceptable à ce problème décevant, qui semble se dérober tout autant à notre esprit que la démonstration du postulat d'Euclide.

Est-ce à dire que nous devons éprouver quelque gêne, alors que tant d'intelligence a été dépensée en son honneur, à revenir sur une question pouvant sembler provisoirement close? Faut-il nous ranger derrière cet auteur circonspect qui a naguère déclaré : « La vie ne se définit pas, elle se constate... » et, tant d'efforts

conjugués n'ayant point fait réussir l'entreprise, en conclure qu'elle demeurera insurmontable tant qu'on n'aura pas réussi à « fabriquer de la vie » en laboratoire? Nous ne le pensons pas et estimons, tout au contraire, que nous avons le devoir de persévérer dans la recherche, sans crainte d'un échec possible ou probable, mais avec cette conviction qu'aucune tentative n'est entièrement stérile et porte toujours avec soi quelque fruit.

Au surplus, sommes-nous bien assurés que le problème ait été posé comme il doit l'être? Et ne savons-nous pas, par expérience, qu'il suffit parfois d'une infime modification dans un énoncé pour qu'une question perde un peu de son obscurité première et livre plus aisément sa réponse?

La diversité des aspects offerts par les manifestations vitales est, dès l'abord, assez volontiers déroutante. Selon que les auteurs ont été frappés par les unes ou par les autres des caractéristiques attribuées à la vie, ils ont présenté leur définition, soit en mettant en évidence celles d'entre elles leur apparaissant les plus adéquates à traduire, avec concision, les critères nécessaires et suffisants par quoi le phénomène était le plus convenablement situé, soit en réunissant ces caractéristiques dans un ordre choisi tout exprès pour rendre la définition apparemment complète, et satisfaisante à tous yeux. Ce qu'une telle méthode a pu donner, nous le savons : elle n'a fait que laisser transparaître son impuissance. Ses moyens, plus étroitement apparentés à l'appréciation subjective qu'à une observation objective des phénomènes, étaient trop faibles, eu égard aux difficultés inhérentes à la nature même de la question.

La vie, avons-nous dit, se présente avec une étonnante variété d'aspects. Ceux-ci révèlent, à leur tour, un certain nombre de qualités ou d'aptitudes qui, à tort ou à raison, ont été tour à tour, ensemble ou séparément, poussées en avant, considérées qu'elles étaient comme propres au vivant, et à lui seul. Il s'en faut cependant de beaucoup que toutes ces propriétés ou tous ces attributs possèdent, chacun en soi, une même valeur caractéristique. Nous avons donc à rechercher si certains, parmi les divers aspects de la vie, ne sont pas, plus franchement que d'autres, révélateurs de ses mécanismes intimes, et ne doivent

être tenus comme primordiaux, le reste leur étant seulement subordonné. Autrement dit, selon la méthode des mathématiciens, nous devons nous attacher à discriminer les infiniment petits des divers ordres et, négligeant provisoirement ceux des ordres supérieurs, nous efforcer d'obtenir un enchaînement nouveau entre les faits afin d'être conduits vers un entendement meilleur de tout ce qui concerne la vie. Ainsi pourra, sans doute, être évitée la faute généralement commise de vouloir embrasser, d'un seul coup d'œil, un trop vaste horizon et de viser à définir la vie sous sa forme la plus complexe — la nôtre — sans rechercher ce qu'elle peut comporter, en soi, d'originel et d'essentiel, le surplus n'étant que manifestations épiphénoménales.

Le vivant et l'inerte. — Où allons-nous donc essayer de trouver cette caractéristique par quoi le vivant va se séparer nettement du non-vivant, l'animé se différencier de ce qui est inerte, ou prétendu tel?

On a coutume de distinguer ce qu'on dénomme « matière vivante », en opposition avec la matière brute, et l'on considère volontiers qu'un lapin ou un hanneton sont faits de matière vivante, alors qu'une brique ou un cristal de quartz sont faits de matière inerte. De toute évidence, une telle conception est devenue hors d'époque. Lorsque noyaux et électrons se présentent associés en manière de corps chimiques, simples ou composés, il n'y a là que matière ordinaire, quelle qu'en soit la morphologie particulière, dieu, table ou cuvette... Lorsque ces mêmes noyaux et électrons sont assemblés en substances quaternaires protidiques, auxquelles se joignent quelques substances ternaires glucidiques et certains sels minéraux, nous nous trouvons, cette fois, face à quelque chose qui est susceptible de vivre, vit, ou a vécu. Nous pressentons donc que, dans le phénomène « vie », nous sommes obligés à mettre en cause un certain arrangement, une disposition particulière conditionnant la qualité de vivre, et que cette infrastructure ne se retrouve point dans toute une classe d'autres assemblages matériels, ceux qui ne vivent pas. Simple sentiment d'ordre général, exigeant d'être précisé davantage.

A la vérité, le large fossé jadis établi entre le vivant et l'inerte, entre l'animé et l'inanimé, va chaque jour se comblant. Scientifi-

quement, il n'en pouvait être autrement, depuis que la Physique nucléaire nous a ouvert des horizons nouveaux et fait comprendre que, sous son apparente immobilité — laquelle ne vaut qu'à notre échelle humaine — la matière brute recélait un « grouillement » prodigieux d'éléments pseudo-irréductibles. En toute dernière analyse, ceux-ci se révèlent absolument identiques à ceux dont la prétendue « matière vivante » est faite. Protons, électrons, neutrons, photons, ce sont là, sur l'échiquier de l'univers, les seuls pions entrant dans le jeu auquel nous assistons et qui fait notre émerveillement. Mais ses figures successives nous laissent entrevoir, dans les phénomènes de la vie, une souplesse de manœuvre que nous ne retrouvons pas dans l'évolution, incontestablement plus rigide, des processus dirigeant l'inerte vers le même but que l'animé, aboutissement qui réside dans l'inévitable désintégration finale.

Si différence il y a — et il est incontestable qu'elle existe — elle ne semble donc pouvoir se tenir ailleurs que dans les modes intimes d'assemblage permettant au « dispositif vivant », quelle que soit la matière de son substratum, d'accomplir constamment, sur la voie au long de laquelle il est engagé, ces fameux « tours et retours » de Descartes par lesquels il retarde d'autant l'inévitable culbute dans le néant, alors que l'inanimé se dirige tout d'une pièce, mais point aussi passivement qu'il pourrait sembler, vers ce même destin.

De part et d'autre, il n'existe, tout compte fait, que des états d'équilibre ne se distinguant entre eux que par leur plus ou moins grande stabilité ou, si l'on veut, par leurs chances plus ou moins affirmées de se maintenir dans un *statu quo* demeurant, malgré tout, précaire et provisoire.

De tous ces caractères par quoi on a tenté de hausser le vivant fort au-dessus de l'inerte, pour en constituer une entité bien à part au sein du cosmos — de la persistance dans l'individualité à l'irritabilité, ou de l'apparente spontanéité à la possibilité de bipartition, en passant par la volonté, la nutrition, la sensibilité, le mouvement volontaire et d'autres encore — aucun ne s'est, en fin d'examen, révélé comme étant rigoureusement spécifique de la vie. Ils ne se rapportent qu'au sentiment, fort éloigné d'une véritable connaissance scientifique, dans lequel viennent

se fondre nos impressions relatives aux phénomènes vitaux. Mais que l'on se reporte aux curieuses expériences de Bütschli, de S. Leduc, de G. W. Crile ou de L. A. Herrera : assurément, elles ne sont pas parvenues à une création de vie, mais elles ont eu le mérite de nous éclairer davantage sur quelques-uns des mécanismes par le moyen desquels elle se manifeste à nos sens, en nous montrant que croissance, multiplication et développements morphologiques pouvaient parfaitement être réalisés en des groupements matériels, par ailleurs inertes du point de vue biologique.

Nous nous excusons d'insister sur ce point, mais nous ne voudrions pas tomber sous le reproche de discuter sur des pointes d'aiguille ou de nous enfoncer dans une métaphysique entachée d'une certaine nébulosité. C'est le désir que nous avons de pénétrer plus avant et au cœur même de la question débattue en ce moment, qui nous oblige à montrer combien ces expressions « inerte » ou « inanimé » ne sont propres qu'à masquer les réalités derrière le brouillard des mots. Au vrai, il n'y a rien d'inerte; il n'y a que des apparences d'inertie. Matière et mouvement sont deux notions désormais inséparables l'une de l'autre et il nous faut adopter un autre langage que celui ayant généralement cours, dès que nous émettons la prétention de sortir de l'impasse où nous sommes actuellement bloqués relativement au conditionnement de la vie.

A la lueur des données actuelles touchant notre connaissance du monde, un seul élément reste acquis, mais il le demeure solidement : *ce n'est point dans la qualité des matériaux ou dans leur choix, mais bien dans l'harmonie intervenue dans leurs dispositions respectives et présidant à leur jeu, que se tient l'essentiel de ce que l'on peut dénommer « l'appareil de la vie ».*

Plus on y porte réflexion, plus la conviction s'en affermit dans l'esprit : le vivant tient inclus au fond de soi-même, inhérent à sa nature spéciale, un mécanisme directeur et organisateur, ne différant pas si totalement qu'on l'aurait naguère pu croire de ceux que notre ingéniosité humaine a réalisés industriellement ou en laboratoire. La différence entre l'un et les autres tient seulement au fait que le mécanisme vital s'est trouvé réalisé à l'échelle moléculaire.

Analysons les faits. C'est la disposition propre aux divers organes composant un appareil, qui détermine la possibilité de sa mise en marche, conditionne ses aptitudes particulières, circonscrit les buts qu'il peut atteindre. En cette disposition ou, si l'on veut, en son plan de réalisation, réside la vertu de son mécanisme. Le reste — choix des matériaux dont l'appareil sera construit, ou bien adjonction d'organes chargés de fonctions accessoires et améliorantes — ne joue qu'un rôle d'ordre second; il n'est là qu'au service de la mission principale; il peut, et il doit, apporter des qualités supplémentaires, toujours hautement nécessaires, d'endurance, de souplesse ou d'économie de fonctionnement, mais s'il actualise, complète et développe les possibilités attachées à la nature du mécanisme, ce n'est tout de même pas ce « surajouté » qui les a déterminées en premier lieu.

Evidemment, il est indispensable à la bonne marche des choses qu'une certaine harmonie, une excellente coordination, un parfait *consensus omnium partium* s'introduise entre le plan d'établissement et les moyens par lesquels il est mis au jour. C'est de cet heureux accord que découle, par le degré de perfection auquel atteint le dispositif, l'avenir qui l'attend. Il n'en reste pas moins que nous pouvons, en une telle affaire, discerner deux phases essentiellement distinctes : celle relative au principe directeur, en qui se tiennent et s'utilisent des possibilités, des « vertus potentielles » toujours empruntées à une source extérieure d'énergie, et celle relative aux moyens de réalisation, moyens qui peuvent être plus ou moins heureux quant au choix qui en a été opéré, mais qui restent toujours subordonnés à la conception première de l'ensemble.

Une très simple comparaison est en mesure de bien préciser notre pensée. Il existe, en un certain endroit de la rive gauche à Paris, un ingénieux artisan horloger qui a installé, dans la devanture de sa boutique, une « comtoise » construite avec d'in-vraisemblables matériaux : ustensiles de cuisine et emballages de produits alimentaires. L'horloge marche, semble-t-il, de façon fort satisfaisante, si baroque que soit le matériel utilisé pour son établissement. Transposons, et nous dirons que l'âme de la machine à indiquer le cours du temps est servie par un corps qui, pour n'être point établi selon le mode habituel, per-

met cependant aux fins envisagées de se trouver accomplies.

Peut-être même, pouvons-nous pousser un peu plus avant nos réflexions. Des dispositifs vivants ont dû, en diverses sortes, être réalisés par la Nature, comme de pseudo-vivants l'ont été maintes fois par le génie inventif de l'Homme. Seuls, parmi les uns et les autres, ont pu se maintenir et survivre ceux en qui était atteinte cette harmonie dont nous venons de parler. Tout comme l'Homme, la Nature, que nous voyons à chaque instant procéder par essais successifs et gradations discontinues, a connu ses « ratés », et cela a été le jeu automatique de la sélection que leur assurer le sort dont ils étaient dignes. Dans les premiers vivants, il s'en présentait à coup sûr pour être à peine viables; leur fragilité les a fait disparaître presque sitôt que nés, sans que ces organismes nous aient légué de traces tangibles ou visibles de leur passage sur la Terre. La Paléontologie n'a pu que rester muette au sujet de ces frères existences.

CHAPITRE XII

LES ASPECTS CHANGEANTS DE LA VIE

Aspects de la Vie. — La vie est un phénomène aux multiples facettes. Nous ne devons donc pas nous étonner de voir si diverses dans leur pluralité les définitions qu'on en a proposées, chaque auteur ayant abordé le problème sous l'angle de ses préoccupations majeures. Nous ne faillirons pas à cette tradition si, quittant le point de vue où se sont placés nos devanciers, nous adoptons celui de l'ingénieur ou du constructeur.

Prise en elle-même, la vie n'a pas de but. C'est un effet de notre intelligence que de lui en prêter un, plus ou moins justement défini, comme nous en attribuons un autre à tous les mécanismes que l'Homme s'efforce de réaliser dans un but utilitaire. Pour cette raison, il importe de considérer les faits en les dégageant, le mieux et le plus complètement qu'il se peut, de toute tendance philosophique menant à des interprétations où un certain parti pris s'emploie toujours à jouer son jeu.

Mettons-nous donc dans la situation d'un technicien placé devant un engin dont il ignore à la fois la constitution intime, profonde, et la destination. Avec patience et méthode, il va s'employer à le démonter pièce par pièce, à saisir les relations et les rapports existant entre celles-ci, à reconstituer par la pensée le fil des développements constructeurs ayant présidé à l'édification de l'appareil et commandé l'éclosion de ses possibilités au travail. Ainsi devons-nous opérer en face de cet inconnu qu'est le « phénomène Vie ».

Si, dans ses manifestations courantes, la vie semble varier à l'infini, elle reste cependant toujours semblable à elle-même. Elle réalise admirablement l'unité dans la diversité ou, inverse-

ment, la diversité dans l'unité, de telle sorte qu'il est possible d'affirmer : en posant l'équation « Vie », la Nature s'est employée à en établir la discussion complète. Tenter, comme certains n'y ont point manqué, de l'y suivre de bout en bout, c'est risquer de se perdre bientôt dans le dédale de ces cas particuliers et des détails à négliger en première approximation. Devant l'énorme masse de ceux-ci, un choix s'impose dès l'abord, s'appuyant sur les ressemblances et non sur les dissemblances, pour en dégager ce qui est d'ordre général et ce qui ne l'est point, ce qui est primauté et ce qui est variation secondaire.

Or, le frappant — et nous restons grandement étonné qu'aucun autre ne s'en soit avisé avant nous — le frappant est la quasi-constance avec laquelle un organisme vivant et pris au hasard répond à une non moins quelconque excitation ou agression dirigée contre lui. *En fonction du temps de l'expérience, la réaction se présente avec une intensité variable, mais suivant le protocole immuable d'une courbe exponentielle.* Cette exponentielle, que l'on rencontre, autant dire, à toutes les pages d'un exposé physiologique ou pathologique, est, ou typique et reconnaissable au premier regard, ou moins évidente, déformée qu'elle est par la présence d'effets secondaires, de « parasites » troublant l'allure ordinaire du phénomène envisagé à l'état pur.

La constatation que nous venons de faire, et qui pourrait conduire vers une très profitable étude pratique, autorise une hypothèse de travail : à savoir que l'appareil vivant possède, tout comme une machine à vapeur ou une génératrice électrique, un diagramme de fonctionnement, une « caractéristique » qui se trouve être normalement, dans le cas qui nous préoccupe, une courbe exponentielle.

Une objection risque de nous être faite sur-le-champ : il n'y a pas que les dispositifs vivants pour posséder cette même caractéristique exponentielle. Nous en convenons d'autant plus volontiers qu'il n'est pas dans nos habitudes de nier l'évidence. Au surplus, c'est justement de ce rapprochement que nous avons l'intention de tirer un avantageux parti, en projetant quelque lumière nouvelle sur le mécanisme de base du phénomène vital.

La vie exponentielle. — Nous avons précédemment, au chapitre IV, consacré une assez longue étude à la « courbe universelle » qu'est l'exponentielle et avons tenté de mettre en valeur la multiplicité des aspects sous lesquels elle se prêtait à des investigations révélatrices de l'intimité des phénomènes dont elle fournissait une représentation globale. Plus particulièrement, cette courbe nous permet de voir, tout ensemble, dans une réaction vitale :

1° Le processus d'allure explosive;

2° Le processus d'allure statistique, somme algébrique, à chaque instant, des actions agressives et des réactions défensives;

3° Le processus d'allure analogue à celle d'un phénomène de résonance à champ restreint, dans certains cas, et à champ étendu, dans d'autres cas;

4° Le processus analogue à celui de la charge d'un condensateur shunté, donc présentant des fuites par suite de la semi-conductibilité de son diélectrique;

5° Le processus analogue à celui des variations d'énergie d'un corps noir affecté de causes perturbatrices, donc d'allure quantique;

6° Le processus d'allure analogue à celle d'une oscillation totalement amortie (phénomène pendulaire en milieu résistant);

7° Le processus résultant d'une sommation de phénomènes rythmiques, sinusoïdaux, de même origine, mais de période différente;

8° Le processus pulsatoire, également d'allure quantique, où les forces constantes sont automatiquement mutées en impulsions (mécanisme que nous expliciterons un peu plus loin);

9° Le processus d'allure tourbillonnaire périodiquement entretenu et abandonné à lui-même, donc aussi d'allure pulsatoire ou quantique,

Etc. etc.

Il ne servirait à rien d'allonger cette liste et nous nous bornons à un commentaire rapide, relativement à chacun de ses articles.

La vie explosive. — Que les manifestations vitales se présentent en manière explosive, c'est un fait constant, manifeste et dont les exemples concrets s'offrent en tel nombre qu'il est

malaisé d'y faire un choix. L'animal, mieux encore que le végétal, laisse apparaître dans tous ses actes cette lente accumulation de réserves dynamogènes, cette « potentialisation » qui s'actualise brusquement, passe par un maximum, puis décline au cours d'une période de détente, toujours plus prolongée que celle de l'explosion elle-même. C'est la loi de Buffon, où s'expriment les phases successives de ce printemps de la vie constitué par la jeunesse, de son été correspondant à l'adolescence et au commencement de l'âge mûr, lequel se continue dans l'automne jusqu'à l'hiver de la vieillesse, de la décrépitude et de la mort.

Les anciens, déjà, comparaient volontiers la vie à une flamme qui monte, grandit, passe par un maximum d'éclat, s'amenuise et, après quelques soubresauts, s'éteint pour toujours.

C'est le phénomène de la *secousse musculaire* qui a été, à ce qu'il semble, le premier processus biologique, enregistré mécaniquement et inscrit graphiquement sous sa forme exponentielle. Depuis lors, une quantité innombrable d'autres processus, naturels ou provoqués expérimentalement, ont conduit à l'établissement de courbes identiques. Nous en avons produit quelques exemples.

Faut-il rappeler que le cinéma documentaire a présenté, en vues accélérées, l'éclosion de boutons de fleurs et la transformation de chrysalides en papillons, images animées, bien faites pour nous entraîner en réflexions sur la nature explosive de la naissance de la vie.

Il n'est pas jusqu'au domaine de la morphologie — anatomie ou histologie — qui ne puisse apporter toute une série d'exemples bons à faire concevoir la vie comme une sorte de pièce montée appartenant à un feu d'artifice, ce qu'illustre très expressivement, parmi tant d'autres, le développement, dans l'espace et dans le temps, du système nerveux ganglionnaire chez les Lamellibranches.

La vie statistique. — Parmi les définitions de la vie que H. Spencer a discutées dans ses *Principes de Biologie*, se trouve celle de H. de Blainville, qui s'exprime à peu près ainsi : « La vie est le double courant interne d'assimilation et de décomposition, de sensation et de mouvement, qui s'accomplit d'une

manière à la fois générale et continue ». Au vrai, Blainville a été un peu moins précis que cela semble résulter de la formule précédente, mais nous nous sommes plu, en reproduisant sa définition, à la mettre en harmonie plus complète avec les données acquises par la science moderne.

Spencer a attribué les difficultés que nous rencontrons à spécifier ce qu'est exactement la vie, au fait que, pour être valable, la définition ne doit, ni rester en deçà, ni aller au-delà, mais être exactement suffisante. En quoi, il a entièrement raison. Mais Spencer reproche à la définition de Blainville d'être à la fois trop étroite et trop large, estimant qu'elle s'applique aussi bien aux fonctions d'intégration et de désintégration qui s'opèrent dans un corps vivant qu'à celles s'accomplissant dans une pile électrique. Le reproche tombe à faux. Qu'on le veuille ou non, le fait brutal est là : la vie d'une pile électrique, celle d'une nova ou celle d'un élément radio-actif, et d'autres encore, se traduisent de la même manière que les réactions vitales d'un

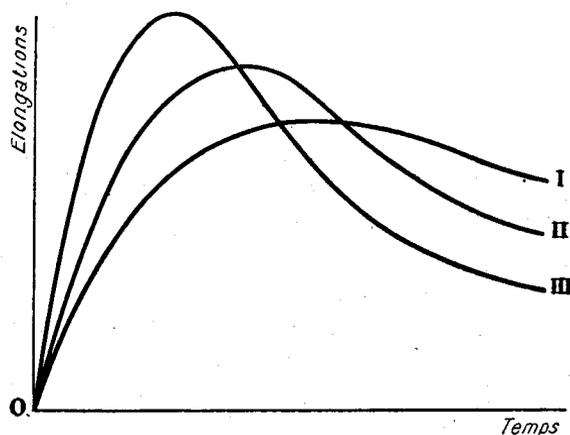


Fig. 29. — Courbes exponentielles de réponses physiologiques à des excitations diverses. La spécificité n'est pas dans le mode de la réponse, lequel est immuable dans sa forme; mais elle est dans la rapidité d'ascension, c'est-à-dire dans la *pen*te, ou angle de la tangente à l'origine avec l'axe des *x*, ainsi que dans la hauteur du maximum de la courbe (*apex*).

être organisé. Il y a donc une communauté de mécanisme qui, somme toute, n'est pas autrement surprenante puisque, dans

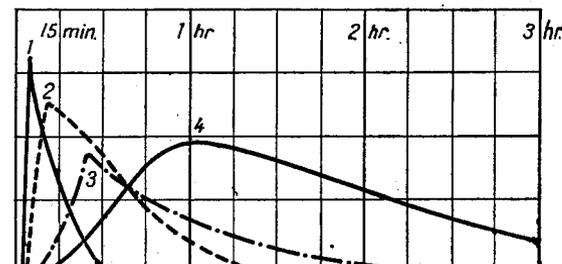


Fig. 30. — Actions pharmacodynamiques (vasodilatatrices) comparées du Nitrite d'amyle (1), de la Nitroglycérine (2), du Nitrite de Sodium (3) et du Tétranitrate d'Erythrol Merck (4). La forme de la réponse organique reste la même, dans un temps d'action très variable d'un produit à l'autre.

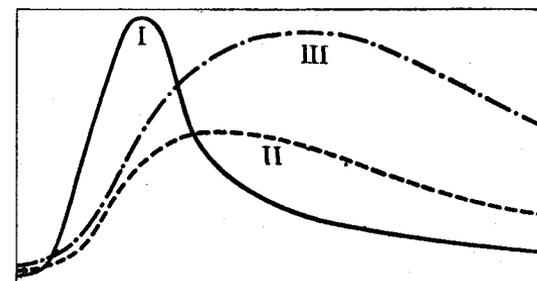


Fig. 31. — Actions comparées de l'adrénaline (I), de l'éphédrine racémique (II) et de la Sanédrine Poulenc (III). Même observation que pour la figure 30.

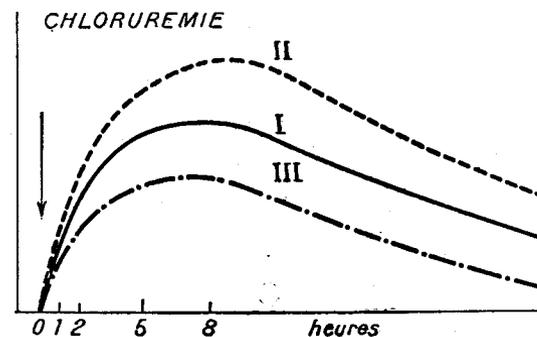


Fig. 32. — Actions des injections intraveineuses de suspension de granules solides sur la chlorurémie (expériences d'Aug. Lumière). I : Carbone, II : Rouge à polir, III : blanc de Troyes. Même observation que ci-dessus.

tous les systèmes que nous venons d'énumérer, processus constructifs et processus destructifs se superposent en une manière dont l'exponentielle donne la série des *bilans instantanés*.

Toujours détruit, toujours reconstruit, changeant constamment dans sa matière et — tel le couteau de Jeannot — se maintenant dans sa forme, le vivant est une sorte de punching-ball : il « encaisse » et il décaisse parallèlement, il interiorise et il exteriorise des énergies de formes diverses — chimiques dans la nutrition et les excréments, physiques dans les sensations et les émissions sonores, électriques ou lumineuses qui en sont le corollaire, mécaniques dans tous les ébranlements ou les traumatismes, comme dans les mouvements musculaires ou la locomotion. Remarquons que l'énoncé de Blainville traduit fort exactement en langage ordinaire ce qu'expriment mathématiquement tous les graphiques représentatifs des métabolismes cellulaires ou individuels. C'est un fait impressionnant, et qu'on ne peut tout de même pas attribuer au seul hasard, que toutes les réponses physiologiques fournies par une entité vivante à une excitation, de quelque nature qu'elle soit, dans l'ordre physique ou chimique, se déroulent toujours selon un protocole immuable. Il en est ainsi de la secousse musculaire comme des tensions artérielles après adrénaline, de l'hyperglycémie provoquée comme de la diurèse après post-hypophyse sous-cutanée, de l'hyperthermie des infections positives comme de la bilirubinémie post-opératoire. Comme nous l'avons précédemment signalé, les courbes traduisant tous ces phénomènes, et bien d'autres encore, sont toutes superposables et ont l'allure exponentielle d'une oscillation amortie. Nous savons que cette communauté d'aspect leur vient de ce qu'elles ne font que représenter une sorte de *bilan vital* établi à chaque instant et fournissant la somme algébrique des importations et exportations énergétiques réalisées par le système vivant, dans l'ordre nutritif ou dans l'ordre sensitif. L'exponentielle statistique ne fait rien que tracer, dans la suite des temps, la différence numérique entre les éléments constitués et les éléments détruits, entre les substances synthétisées et celles qui se sont décomposées, entre les charges électriques incorporées et celles qui sont rejetées au dehors de l'organisme considéré ou transformées en un autre mode d'énergie,

entre les architectures atomiques en rétraction et celles en expansion, entre les interiorisations et les exteriorisations énergétiques.

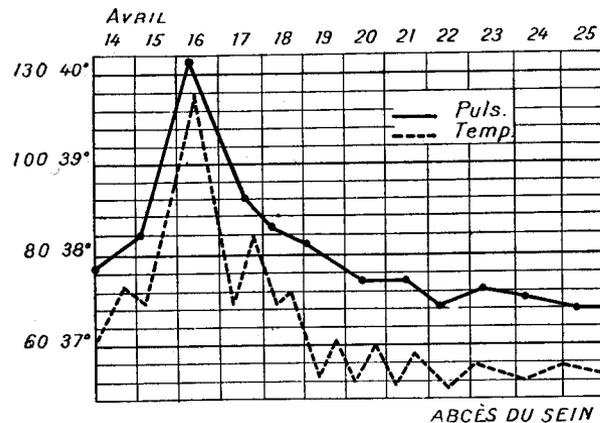


Fig. 33. — Exemple d'évolution pathologique (abcès du sein chez une malade qui, par ailleurs, était soumise à un traitement de négativation électrique pour séquelle de phlébite *post partum*. Chez cette malade humoralem bien *tamponnée*, les courbes de températures et de pulsations en fonction du temps revêtent la forme d'amortissement total du retour à l'équilibre normal, représentée théoriquement sur la figure 29.

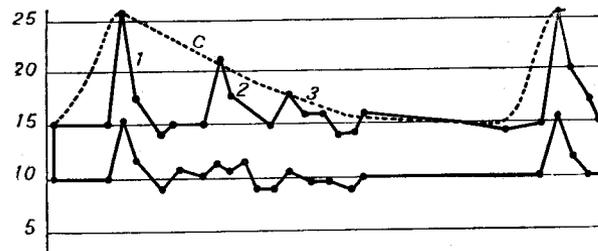


Fig. 34. — Poussées successives d'hypertension paroxystique de la ménopause (observation C. Aubertin et G. Sée). La série des apex de chaque poussée revêt la forme classique d'amortissement total (indiquée en traits pointillés). Chaque cycle de poussée revêt à son tour cette même forme (courbe en traits pleins) faisant apparaître l'existence d'une défense organique.

Considérées sous cet angle, les manifestations vitales ne sont rien d'autre que des phénomènes statistiques, ne se distinguant pas de certaines autres manifestations n'ayant en elles-mêmes rien de vital.

Si donc de telles manifestations peuvent être rappelées dans une définition de la vie, elles n'en sauraient constituer l'essentiel, puisqu'elles ne comportent pas un caractère distinctif nettement affirmé.

En bref, tout organisme qui vit fonctionne comme *récepteur-émetteur*, et ceci sur une série prodigieusement étendue de gammes d'ondes ou de mouvements vibratoires, où s'assimilent et se désassimilent aussi bien ceux de nature électro-magnétique que les ébranlements de la matière, que ces derniers intéressent molécules ou atomes, ou leurs assemblages gazeux, liquides et solides.

L'appareil vital est tout simplement une merveille sous le rapport de ses extraordinaires possibilités d'adaptation aux

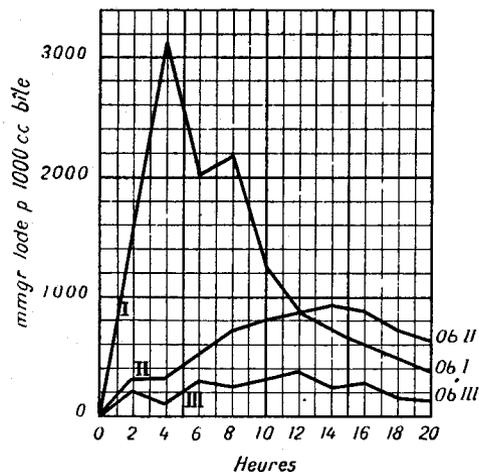


Fig. 35. — Diagrammes comparatifs du rythme d'élimination par le foie de la tétraiodphénolphtaléine après cholécystographie (observations Delbrez et Paris). On voit la différence de l'élimination iodée, révélatrice de l'état du parenchyme hépatique, d'un malade à l'autre. En extrapolant les courbes des observations II et III, on retrouve l'expression de la même loi exponentielle, mais avec un allongement dans le temps, corrélatif à l'abaissement de la pente à l'origine.

modalités de toutes sortes, physiques en dernière analyse, auxquelles il a la faculté de répondre. C'est sous cet aspect précis qu'il constitue, du point de vue constructif, quelque

chose d'unique dans le monde. Mieux encore : à ses qualités d'émetteur-récepteur, il ajoute celle de *convertisseur* puisque, comme nous le verrons aussi, il jouit du pouvoir de transformation, les unes dans les autres, des différentes modalités auxquelles il répond. Il emmagasine le tout, capitalise et monte ses réserves, opère changes et mutations, règle dans la mesure de son possible ses dépenses sur ses rentrées et se maintient, tant qu'il peut, toujours semblable à lui-même au sein de ces allées et venues, de cette continuelle agitation se poursuivant sur tous plans et à toutes échelles dimensionnelles. Ses réactions apparentes, lorsque nous en établissons la mesure, ne sont rien d'autre que les bilans, plus ou moins fidèles, des opérations que nous avons entrepris de surveiller.

CHAPITRE XIII

RÉSONANCE ET VIE

La Vie, phénomène de résonance. — A considérer une réaction vitale sous la forme d'un phénomène de résonance, nous rencontrons de frappantes analogies entre l'un et l'autre des deux dispositifs. Le premier principe, comme on le sait, qui dirige les phénomènes de résonance, c'est que tout corps absorbe les vibrations qu'il peut lui-même effectuer ou émettre. De ce point de vue, le radiateur parfait, le résonateur idéal, c'est le *corps noir* placé dans une enceinte en équilibre thermique. Nous examinerons en même temps et sous leur aspect le plus général, les corps noirs et les résonateurs ordinaires, en tant que dispositifs possédant quelque point commun avec le vivant (1).

Pour qu'il y ait résonance proprement dite, c'est-à-dire synchronisation, il est nécessaire que la période du résonateur soit égale à celle de l'excitateur. Toutefois — et ici s'introduit la notion de *tolérance* dont le rôle est si éminent dans les processus naturels — la synchronisation peut également se produire pour deux périodes différentes si on soumet le récepteur à un amortissement rapide : c'est ce qui arrive, par exemple, lorsque les

(1) Nous regrettons de ne pas avoir eu connaissance, avant la rédaction de notre manuscrit, d'une communication de Ch. Henry, dont la référence est indiquée dans notre Bibliographie (*Rayonnement, Gravitation, Vie*). Dans ce travail, Ch. Henry, savant injustement méconnu et dont certaines intuitions ont été géniales, assimile le vivant au corps noir. L'auteur estime que les lois du corps noir sont immédiatement applicables en biologie et établit, par le calcul, que les homéothermes se comportent presque rigoureusement comme un corps noir, les poïkilothermes et les végétaux, toujours à température minimum constante, pouvant encore être sensiblement assimilés à des corps noirs. Si nous ne pensons pas que Ch. Henry puisse être suivi dans la totalité des développements qu'il donne à sa pensée, nous estimons cependant que la lecture de son travail, encore qu'elle puisse présenter une certaine aridité pour ceux qui ne sont pas très familiarisés avec le langage mathématique, ne peut être que très profitable à tous ceux qui sont curieux de questions se rapportant à la relativité, aux quanta, aux théories de Planck, d'Einstein, de L. Broglie, de Stéphan, etc.

deux pendules inégaux sont suspendus à un même support; en cette occurrence, il ne se produit plus de battements si précaution est prise de faire plonger le plus court pendule dans un liquide, huile ou eau.

Nous avons précédemment été conduits à considérer le dispositif vital comme un *omnivibrateur*, ce qui revient à lui supposer un amortissement notable, soit pour cette raison qu'il est, en lui-même, dépourvu d'inertie, de masse, de capacité ou de pouvoir absorbant envers la forme d'énergie vibratoire qui tend à l'entraîner dans son mouvement, soit pour cette autre raison qu'un dispositif annexe est en mesure d'assurer, dans tous les cas possibles, l'amortissement nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil. Nous n'avons, pour le moment, aucune donnée précise nous permettant d'opter pour l'une des deux raisons, quoique l'examen d'un grand nombre de graphiques obtenus expérimentalement dans les circonstances les plus diverses, incline à faire penser, l'amortissement pouvant varier dans des limites assez étendues, que les deux alternatives ne s'excluent pas mutuellement, mais prennent part, chacune à leur manière et dans une certaine mesure, à l'amortissement constaté. Ce qui revient à dire, si l'on se reporte à la théorie mathématique des champs de résonance, que si l'omnivibrateur dont il a été parlé se rapproche de la perfection, il ne l'atteint cependant pas entièrement, ce qu'on peut tenir pour une preuve de sa réalisation, non idéale, mais bien vraisemblablement matérielle.

Nous ne pouvons nous attarder à discuter dans quels rapports réciproques peuvent coexister l'amortissement intrinsèque et l'amortissement extrinsèque de l'omnivibrateur. Aussi bien, les données qui permettraient d'aborder ce problème par le calcul de la transmission d'énergie du système excitateur au système excité et d'en déduire la valeur du rendement, ces données, faute d'expériences expressément dirigées vers ce but, sont trop fragiles pour que nous en puissions faire état.

Un retour vers les considérations qui ont permis à Planck d'établir sa fameuse théorie des quanta, nous semble opportun, pour circonscrire encore davantage la recherche à laquelle nous sommes attachés en ce moment. D'après Planck, un minimum

d'énergie est nécessaire pour faire vibrer un oscillateur, et nous avons précédemment relié ce fait à la nature matérielle de l'oscillateur, nature l'obligeant à être tributaire d'un certain nombre de constantes ou de caractéristiques déterminatrices de résistances passives et de moments d'inertie. Ces résistances imposent des limites de fonctionnement qui, si larges soient-elles, n'en sont pas moins d'une existence certaine. Des deux limites possibles, c'est l'inférieure qui offre le plus grand intérêt. Elle affecte le facteur Temps et joue dans tous les processus où se marque un certain décalage entre l'origine de l'action et celle de la réaction qu'elle déclenche. Or la physiologie est pleine de tous ces phénomènes nerveux, musculaires et autres, dans lesquels s'introduisent les notions de *seuil* d'excitation, de temps perdu, de constante de temps (chronaxie), qui sont liées entre elles par une étroite parenté et peuvent servir à la détermination du rendement de l'appareil en cause.

La vie, oscillation amortie. — Nous avons, dans un précédent chapitre, signalé la présence, chez le vivant, d'une infinité de systèmes-tampons capables de réduire, aux proportions acceptables par l'organisme, la brusquerie du choc agresseur. Sans la présence de ces amortisseurs, la vie serait chose précaire. Grâce à leur concours, au contraire, la nuisance d'une charge excédentaire peut être ramenée dans les limites de la charge utile, et ils concourent dans la plus large mesure au maintien et à la prolongation d'une existence. On peut, on doit donc les tenir, soit pour partie intégrante, soit comme indispensable dispositif accessoire du mécanisme vital.

Dans ces conditions, il ne devient aucunement étonnant de retrouver sous forme d'oscillation amortie la réponse de l'organisme à l'excitation dirigée vers lui. Nous ne reviendrions pas à nouveau sur ce point déjà mis en valeur, si nous n'y trouvions l'occasion de préciser encore mieux notre pensée.

Le prototype de l'oscillation amortie, on peut le rencontrer dans ce que la physiologie désigne sous le nom de *secousse musculaire*, et la pathologie sous celui de *contraction clonique*, par opposition au *tétanos musculaire* ou à la *contraction tonique*. Dans la première, le champ de résonance est restreint; dans la seconde il est, en apparence, amplifié. S'il l'était réellement, ce

ne pourrait être qu'au détriment du rendement global de l'appareil, et ce serait dans l'instant où l'organisme doit répondre par un effort soutenu qu'il perdrait sa meilleure possibilité de l'accomplir. Une analyse plus fine du phénomène de la tétanisation montre que cette dernière, loin d'être continue et de s'étaler en un *plateau* rectiligne, est, en réalité, de nature oscillatoire; nous aurons à réserver ultérieurement, lorsque nous parlerons de l'appareil musculaire, un examen plus approfondi à l'artifice de la *fusion* des secousses successives, révélateur d'un mécanisme profond de discontinuité, consistant en *pulsations* itératives. Ce même examen nous permettra la discussion des aspects indiqués dans les articles 4, 7, 8 et 9 de l'énumération présentée dans le paragraphe consacré à « la vie exponentielle » et qui, croyons-nous, seront alors en meilleure place pour être étudiés comme il convient.

CHAPITRE XIV

MÉCANISME VITAL

Le dispositif omnivibrateur. — De ce qui vient d'être exposé au sujet des aspects réactionnels de l'appareil vital, il semble résulter assez nettement, en résumé, que celui-ci se comporte en toutes circonstances comme s'il était :

A) Un dispositif *omnivibrateur*, réalisé et fonctionnant à l'échelle moléculaire;

B) Un dispositif, non seulement récepteur et émetteur, mais en même temps, *convertisseur*, et capable de muter, les unes en les autres, les diverses modalités d'énergie vibratoire auxquelles il est sensible;

C) Un dispositif *amortisseur*, diluant dans le temps et répartissant dans l'espace l'effet déformateur ou destructeur que pourraient lui imposer des variations énergétiques l'atteignant avec une brusquerie trop marquante.

Certes, de savoir cela, nous ne paraissions guère plus avancé que devant, sur le chemin de la solution cherchée. Ce sont même de nouvelles interrogations qui viennent assaillir notre esprit : si résonateur il y a, où peut-on le localiser? s'agit-il d'un appareil unique ou, comme on a été amené à le supposer en ce qui concerne le corps noir, d'un système de résonateurs divers? et quelle est la modalité énergétique qui maintient en permanence la vibration du « diapason »? Est-ce une énergie chimique, c'est-à-dire électronique, sont-ce des ondes électromagnétiques ou des rayons cosmiques, des ondes sonores ou de simples chocs mécaniques, ou le tout ensemble?

Nous ne sommes guère, pour l'instant, en mesure d'apporter la moindre des réponses à ces diverses questions, et nous avons

encore et nombreux faits à passer en revue avant de parvenir à les éclaircir un peu mieux.

Métabolisme. Envahissement. Individuation. — La résonance se caractérise par un double mouvement, récepteur-émetteur, d'action et de réaction, d'intériorisation énergétique et d'extériorisation, d'influx vibratoire centripète et de reflux centrifuge, auquel correspond le « double courant d'assimilation et de décomposition, de sensation et de mouvement » sur lequel s'assoit la définition de Blainville, et que de nombreux auteurs considèrent encore comme le plus hautement significatif de la vie.

Ce cheminement alternativement d'un sens et de l'autre, ces « trains » d'aller et de retour, s'expriment en une agitation ondulatoire se manifestant dans l'espace environnant, puis y créant une atmosphère particulière, un *champ* d'action qui ne peut laisser indifférents la plupart des matériaux qui s'y trouvent inclus. Ceux-ci y sont, en quelque sorte, en état d'ionisation; ils y prennent des charges électriques et s'y animent de déplacements qui tendent à les diriger vers les foyers orbitaires, ou à les en éloigner. Ce microclimat spécial, d'ordre tourbillonnaire, est éminemment favorable aux réactions chimiques, c'est-à-dire à l'éclosion de combinaisons et de dissociations, de mutations architecturales se produisant entre atomes, molécules et radicaux. En cela consiste essentiellement le *métabolisme*, anabolique et catabolique — l'un étant la rançon de l'autre — du vivant. Ce métabolisme est un effet, non une cause première; il est une œuvre de cette vie qu'il concourt puissamment à entretenir et à développer, mais dont il ne peut, à aucun titre, revendiquer la création, pas plus que les poussières ou les objets matériels entraînés tout au long des lignes de force d'un tourbillon ne constituent les vrais substrats du phénomène. Ils sont entrés dans une danse où ils ont été jetés par une musique dont ils sont les esclaves, aucunement les maîtres.

Et, de même que la tendance, pour ainsi dire, « congénitale » de la vibration ou du tourbillon est celle d'une propagation progressive dans le milieu ambiant qui s'y prête, de même *la vie se présente comme un processus d'envahissement*, marchant de conquête en conquête, établissant, dans l'espace et dans le temps,

sa domination sur l'entier du monde minéral, y puisant les ressources qui lui permettent de poursuivre sa lutte et changeant sans arrêt la figure de la Terre à qui elle emprunte, sous une certaine forme, les substances indispensables à son édification, tandis qu'elle les lui restitue sous une forme tout autre.

Est-ce H. de Blainville ou est-ce Claude Bernard — nous ne savons plus au juste — qui a prononcé cet aphorisme : « La vie se distingue par sa tendance à l'individuation »? C'est une constatation digne de remarque, en effet, qu'elle se répand en quantités discrètes, en unités qui tendent d'autant mieux à s'isoler les unes des autres, voire même à se repousser mutuellement, qu'elles sont plus élevées dans l'échelle des êtres. Mais ce n'est, là encore, qu'un caractère tourbillonnaire, et il n'est spécifique de la vie que dans la mesure où celle-ci est empreinte de ce même caractère, dont il nous faut bien, maintenant, dire quelques mots.

CHAPITRE XV

L'EMPREINTE TOURBILLONNAIRE SUR LE VIVANT

Vie et dissymétrie. — Dans son Cours de Zootechnie, R. Baron avait coutume de dire à ses auditeurs : « Un jour viendra où l'on s'apercevra, que du point de vue scientifique pur, les travaux de Pasteur sur la dissymétrie de certains cristaux sont encore plus grands, par les conséquences qui en dérivent, que ses recherches sur les maladies microbiennes... » De quoi s'agissait-il donc? De ceci : Pasteur, au début de sa carrière, avait l'esprit sans cesse occupé du rapprochement jadis établi par Herschell entre le pouvoir rotatoire des cristaux de quartz et leur structure hémédrique. Le savant rapporta cette architecture boiteuse, nettement apparente à l'échelle humaine d'observation, à une structure plus fine et pensa à une asymétrie moléculaire s'extériorisant, en quelque sorte, dans l'hémédrie cristalline. Renversant l'opinion de Mitscherlich, Pasteur montra ensuite, expérimentalement, que l'activité optique — déviation à gauche du plan de polarisation de la lumière — constatée chez un tartrate provenant d'une solution dans laquelle avait été cultivé un *Penicillium*, était uniquement due au fait que la cellule vivante avait consommé l'acide tartrique droit et s'était montrée dans l'incapacité d'attaquer le gauche. Ainsi l'inactivité optique des tartrates ordinaires n'était rien d'autre que le résultat statistique d'un mélange où figuraient en quantités sensiblement égales les cristaux droits et gauches, par quoi était assurée une cristallisation régulière.

Ainsi Pasteur, le premier, avait montré la liaison existant entre certaines dissymétries et la vie. La question était d'une haute importance. Malheureusement, ou très heureusement, selon l'angle sous lequel on considère la question, Pasteur dérivait

bientôt vers d'autres recherches et personne, à notre connaissance, ne reprit l'étude des relations possibles entre l'hémiédrie et la vie.

Une étude générale, digne d'attirer l'attention des chercheurs, serait à entreprendre sur l'ensemble des phénomènes communs aux substances optiquement actives. En une synthèse de haute valeur significative, pourraient s'y grouper tous les faits, encore disparates, mis en évidence par les cristallographes concernant la structure intime et les propriétés physiques des cristaux hémiédriques (quartz, tourmaline, sel de Seignette, etc.) et ceux qui ont été établis par les biochimistes touchant les architectures moléculaires des substances ternaires (glucides) ou quaternaires (protéides). Il ne semble guère possible, en effet, que soient seulement dues à des concordances de hasard les constatations homologues faites dans les deux ordres de recherches et tendant à faire apparaître la communauté des processus en jeu.

Les quartz, éléments siliceux en provenance de terrains sédimentaires, n'impliquent nullement, dans leur formation, ainsi que l'a fait remarquer Cayeux, la nécessité de conditions ambiantes où seraient intervenues des températures et des pressions élevées. Certaines eaux, très enrichies en silice par la désagrégation de spicules d'éponges, de tests de radiolaires ou de diatomées, sont à l'origine des dépôts où se rencontrent les roches siliceuses. Point n'est besoin de se livrer à des débordements d'imagination pour supposer que l'hémiédrie rencontrée dans quartz et tourmalines est une marque, demeurée permanente à travers les vicissitudes de notre globe terrestre, de leur formation par des êtres vivants. Ainsi, est-il permis de les apparenter étroitement aux autres substances optiquement actives qui, toutes, appartiennent au domaine de la biochimie, et qui, presque toutes aussi, mais à des degrés extrêmement divers, sont dotées de propriétés piézo, stréphi et pyro-électriques, lorsque obtenues à l'état cristallin. Le tartrate sodico-potassique (sel de Seignette), avec ses propriétés au moins aussi remarquables que celles du quartz, constitue, sous ce rapport, un remarquable terme de passage entre les deux ordres de substances, minérales ou pseudo-minérales, d'une part, et organiques, d'autre part.

En chimie organique, les corps de synthèse, racémiques de

leur nature, ne peuvent devenir actifs que par l'intervention, ou d'un germe vivant, ou d'un corps actif et provenant lui-même de l'activité d'un vivant, d'un ferment par exemple. C'est par le concours d'êtres animés que les élaborations biochimiques sont presque toutes douées d'un pouvoir polarisant et d'une propriété « inoculante » envers certaines formes inertes. La nécessité d'une contrainte, d'une certaine orientation imposée aux groupements moléculaires, d'un principe directeur et organisateur, apparaît donc clairement dans le développement de l'isomérisation optique et l'apparition de la puissance rotatoire.

L'orientation des micelles — ce terme étant pris ici au sens attribué par Naegeli — s'accomplit tantôt par rapport à un plan (structure lamellaire), tantôt par rapport à un axe (structure fibreuse) (1). Elle engendre non seulement des possibilités vibratoires, mais détermine aussi, par ses variations angulaires, les fréquences propres au système envisagé. Visiblement, par des rassemblements qui s'opèrent, parmi certains groupements atomiques (plans des cycles pyrimidine et purine dans la mosaïque du tabac), perpendiculairement à l'axe de la molécule, et, d'autres fois, parallèlement à ce même axe (ce qui modifie profondément les propriétés constatées), il s'agit d'alignements matériels, soit sur des lignes ou surfaces équipotentiels de champs de forces, soit sur des lignes de forces de ces mêmes champs vibratoires.

La quasi-constance de la morphologie qui se révèle dans les dispositions des éléments sub-microscopiques, dans les cas examinés, semble être en accord avec les principes, posés précédemment, qui président aux figures prises par les particules matérielles obéissant, ou se refusant, aux sollicitations cinétiques que leur imposent les champs de forces.

Cette « empreinte tourbillonnaire », née de et faisant elle-même naître la dissymétrie, Bragg et Gibbs l'ont vue dans l'édifice cristallin du quartz où, selon ces auteurs, les molécules de silice sont disposées en hélice autour d'axes parallèles à l'axe optique;

(1) Les formes lamellaires se manifestent de préférence chez les corps protéiques et les formes fibreuses chez les corps glucidiques, fait qu'il est assez curieux de rapprocher de cet autre, dont il sera parlé plus loin : la propriété de s'étendre en surface semble constituer un apanage des éléments phycoïdes (algues et épithélium), celle de s'assembler en files ou en masses pleines, aux éléments mycoïdes (champignons et cellules ou tissus conjonctifs).

en suivant une spire, on rencontre successivement trois molécules, et à la quatrième, on se retrouve verticalement sur la même génératrice que la molécule de départ. Cette empreinte tourbillonnaire, elle se manifeste aussi dans les diagrammes de Laue, par le secours duquel un faisceau de rayons X permet d'établir la valeur des distances réticulaires dans un cristal; le dispositif de Laue constitue une sorte de réplique à celui de Lissajous et est révélateur des mouvements oscillatoires composés ayant imposé au cristal la structure profonde qu'il possède. Il n'y a pas besoin de plus de deux mouvements associés, soit en phase, soit en décalage de phase, avec périodicité identique ou périodicité différente, pour que, en général, le diagramme obtenu revête une apparence assez complexe. Il y a là une analyse harmonique à établir, en polaires, parallèle à celle que permet analytiquement et avec transcription en coordonnées cartésiennes le théorème de Fourier.

Tout au contraire de l'omnivibrateur vital, le quartz a surtout été étudié relativement à son emploi comme « maître oscillateur », stabilisateur des longueurs d'onde de la T. S. F. L'anisotropie des lames peut devenir une source de mécomptes, alors que pour des recherches poussées dans un sens pratique directement opposé, elle deviendrait peut-être une qualité positive au lieu de constituer un défaut!

Les champs tourbillonnaires et leurs aspects. — Que les processus vitaux aient une origine tourbillonnaire ou, ce qui revient au même, vibratoire, il n'est pas rigoureusement nécessaire d'en rechercher la raison jusque, comme nous venons de le tenter, dans une architecture moléculaire. On peut, très simplement, en faire la constatation dans des observations poursuivies à une échelle directement accessible à nos sens humains.

Tous les phénomènes naturels — mécaniques, sonores, caloriques, lumineux, électriques, électro-chimiques — sont des manifestations de mouvements tourbillonnaires, entraînant avec eux des atomes, des molécules ou des groupes plus ou moins importants de molécules. Ainsi que nous l'avons antérieurement montré, les *lignes de tourbillons* représentent, en effet, des trajets de moindre résistance, ou de plus forte économie énergétique; et nous

sommes parvenus à cette conception que, *dynamiquement* parlant, le plus court chemin d'un point à un autre est une hélice dont le diamètre et le pas varient avec les constantes du milieu considéré, en même temps qu'avec les caractéristiques propres du mobile engagé dans le déplacement. Il est bien entendu, par ailleurs, comme nous l'avons également montré, que le terme *hélice* est pris ici dans son sens géométrique le plus général et comprend toute la famille des courbes s'apparentant à l'hélice, famille nombreuse dont les sujets sont affectés d'un polymorphisme masquant, en de fréquentes occasions, leur consanguinité réelle.

Il se trouve, comme nous allons en apporter quelques exemples, que le vivant présente, dans toute sa morphologie et dans toutes

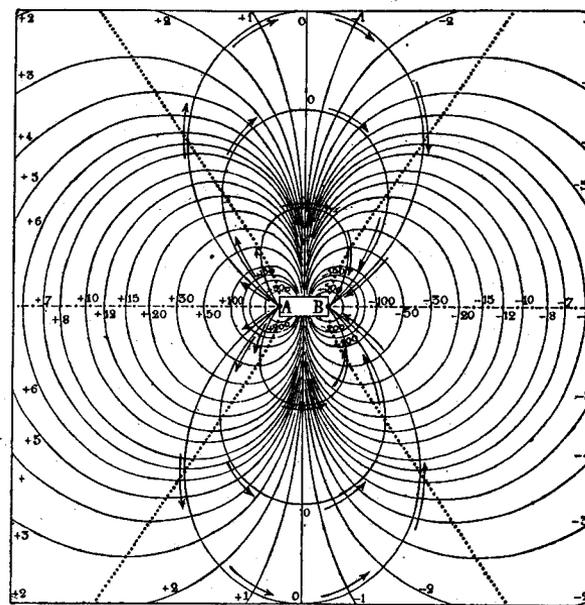


Fig. 36. — Champ de forces.

ses fonctions, cette « empreinte tourbillonnaire », bien propre à mettre en valeur le rôle joué parmi les phénomènes d'ordre éminent physique dans la constitution intime de l'être.

Tous les mouvements tourbillonnaires projetés sur des plans

fournissent des images de champs de forces, électriques, magnétiques, acoustiques, gravifiques, etc.

Supposons (fig. 36) qu'il s'agisse d'un plan coté, d'une sorte de carte d'état-major où A représente un pic élevé et B le fond d'un précipice. Autour de A et B s'établissent des *lignes de niveau*, positives autour de A et négatives autour de B. Les chiffres indiquent les cotes au-dessus, ou au-dessous de la ligne OO servant de repère (niveau de la mer). Toute la moitié gauche est *émergée*; c'est le continent, dont A est le point culminant local. Toute la moitié droite est *immergée*, et B est le fond de l'abîme sous-marin. En suivant les bords de la figure à partir de O, on voit que l'escarpement augmente au fur et à mesure qu'on se rapproche de A et de B, l'un extrêmement élevé, l'autre extrêmement profond.

En sus des lignes de niveau, qui *s'enveloppent les unes les autres sans jamais se couper*, ont été tracées quelques *lignes de plus grande pente*. Partant toutes du point A, elles viennent toutes aboutir en B, après accomplissement d'un circuit de longueur variable. Elles coupent *orthogonalement* chacune des lignes d'égal niveau.

Si nous supposons que ces différentes lignes sont des chemins, il est évident que la pesanteur est, à elle seule, incapable de déplacer un mobile sur un « chemin de niveau », alors que sa composante verticale le sollicite au maximum sur les « chemins de plus grande pente » et lui fait dévaler la déclivité avec une vitesse croissante, dont la loi est bien connue. Ainsi, les lignes de niveau se présentent comme des oasis de *repos*, des lieux d'*accumulation* d'objets pesants, au contraire des lignes de plus grande pente, qui sont pour ces mêmes objets des itinéraires de *déplacement* et des trajets les mettant au *travail*, celui de la pesanteur. Théoriquement, un objet placé sur un chemin de niveau, soustrait qu'il est aux lois de la gravité, peut être mû sur ce chemin par une force infime de pression ou de traction, dirigée parallèlement à ce chemin. Pratiquement, il faut compter avec certaines résistances passives, dont la force nécessaire au démarrage est la mesure exacte.

Au lieu de voir, dans la figure 36, un relief de terrain — auquel nous n'avons fait allusion que dans le but d'imaginer plus simple-

ment nos explications — nous pouvons y voir la représentation d'un champ électrique où A est un pôle positif ou une masse d'électricité positive, B un pôle négatif, ou une masse d'électricité négative, égale à la première. Les lignes de niveau électrique deviennent des *lignes équipotentielles*, les lignes de plus grande pente deviennent des *lignes de force*. Une particule m^+ d'électricité positive, placée en un point du champ, est repoussée par A, attirée par B, et tend à se déplacer dans le sens des potentiels décroissants, en suivant la ligne de force qui passe par sa position. Quant à l'intensité de la force tendant à l'entraîner, elle dépend de la pente, de la *chute de potentiel* au point considéré. Cette pente, on le comprend aisément, est d'autant plus forte que les lignes équipotentielles sont plus rapprochées les unes des autres. La pente passe par un minimum au passage de la ligne équipotentielle O.

La même figure représente un champ magnétique où A est un pôle boréal et B un pôle austral. Si, au lieu de chercher à établir le classique « fantôme magnétique », inventé par Descartes, et réalisé au moyen d'une fine limaille de fer, nous recourons à un mélange de cette limaille avec de la poudre de bismuth, corps diamagnétique, nous pourrions alors constater que, si le fer tend à s'aligner comme on sait, les particules de bismuth tendent, au contraire, à s'assembler sur les lignes équipotentielles.

Dans le cas où la figure est supposée représenter un champ de ventilation, AB étant un tube ouvert où se trouve un ventilateur qui aspire l'air en B et le refoule par A, il se développe un mouvement cyclonique de l'atmosphère ambiante et les lignes de force sont les trajectoires des molécules gazeuses, alors que les lignes équipotentielles sont des lignes d'égal pression. Celle-ci est augmentée dans la partie gauche du champ, où prédomine l'action de A, et diminuée dans la moitié droite, où prédomine celle de l'aspiration B; elle est restée théoriquement invariable sur la ligne de séparation O.

Enfin, d'une manière générale, ce champ est celui entretenu par une vibration d'amplitude AB et qui serait, par exemple, celle de l'extrémité libre d'une lame fixée en son autre bout. En se communiquant à l'air avoisinant, ainsi qu'aux particules étrangères s'y tenant en suspension, le mouvement pendulaire

de la lame y détermine alternativement, autour de chacune de ses faces, un état de déformation élastique, de compression suivie de détente se transmettant, de proche en proche dans l'air, alors qu'il se traduit seulement par une agitation spéciale des poussières. Celles-ci obéissent au mouvement dans la mesure où le permet l'inertie propre à chacune des particules et où le permettent aussi les frottements et résistances déterminés par leur morphologie individuelle et la nature physique de leur substance. De telle sorte que, dans le régime tourbillonnaire de l'ensemble, il se produit, tout en même temps, des variations harmoniques

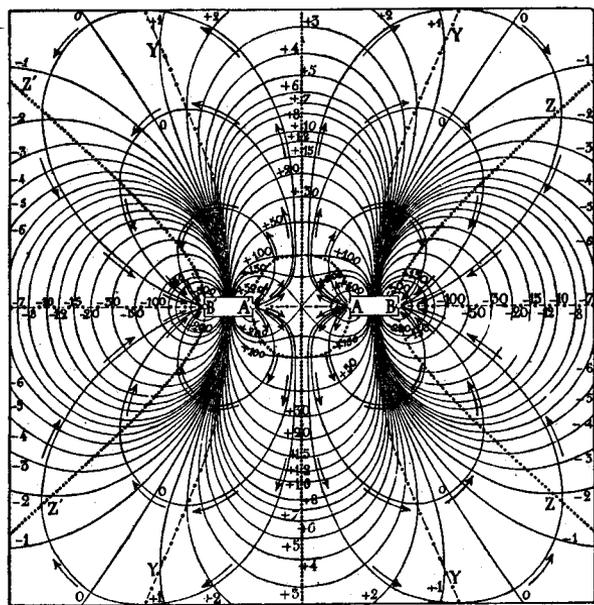


Fig. 37. — Deux champs de forces contigus.

intéressant la masse gazeuse et y déterminant une sonorité, et des *rassemblements sélectifs*, un véritable tri s'opérant sur les éléments hétérogènes des poussières. Ces dernières se classent en amas figurés, où elles tendent à se réunir en concrétions homogénéisées, s'organisant avec plus ou moins de netteté, soit sur les lignes de force du champ d'action, soit sur ses lignes de niveau, soit sur des lignes intermédiaires, en fonction, principalement

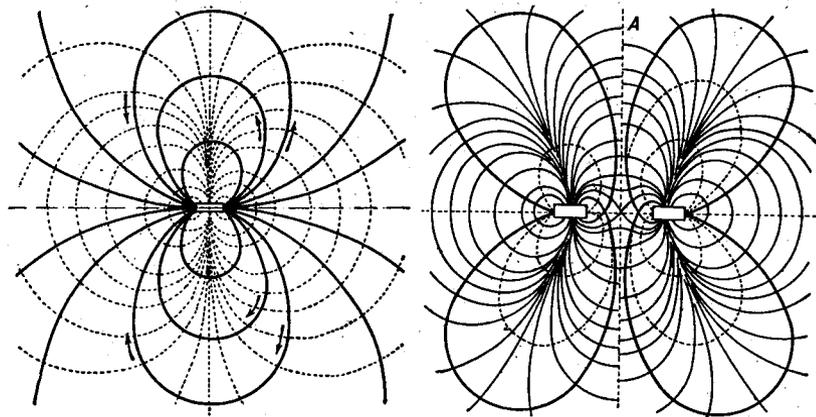


Fig. 38.

Fig. 39.

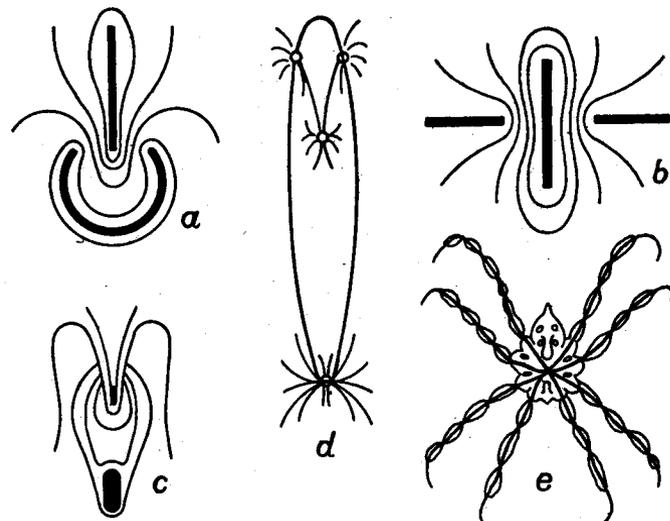


Fig. 40 à 44.

Fig. 38 et 39. — Tracés obtenus par calques sélectifs opérés respectivement sur les champs de forces des fig. 36 et 37.

Fig. 40 à 44. — En *a* et *b*, figures réalisées dans les expériences de Guehard. En *c*, organisation de *Pelagia noctiluca* (Méduse). En *d*, système nerveux d'*anodonte* (Lamellibranche) (d'après Gegenbaur). En *e*, organes digestifs d'*ammothoë pycnogonoïdes* (Arachnide) Gegenbaur d'après Quatrefages).

de leur densité, mais aussi des autres facteurs précédemment indiqués. Quant au son produit par l'air, il présente son maximum d'intensité au long de l'horizontale, où les lignes de force sont le plus resserrées, le minimum se localisant le long de OO, où les variations de pression sont, autant dire, nulles.

Nous avons tenu à présenter sous différents aspects physiques cette question de champs tourbillonnaires, non seulement pour laisser à chacun, selon sa tournure d'esprit, la liberté de choisir, entre les divers exemples, celui semblant posséder la meilleure valeur explicative, mais surtout pour conduire, de la manière la plus simple possible, une analyse de phénomènes dont nous voulons montrer la parfaite similitude avec ceux, trop souvent restés inexplicables, discernables en certaines des manifestations de la vie.

De tout ce que nous venons de nous essayer à mettre en évidence, le point capital, eu égard aux applications pratiques pouvant en dériver, c'est l'étroite relation qui se manifeste entre *énergie* et *forme*. Nous nous sommes appliqué à montrer, en clair, comment les modalités de l'une déterminaient les apparences de l'autre, comment par entretien, propagation et extension d'une déformation élastique primitive transformée en mouvement vibratoire, l'ambiance se trouvait, à son tour, intéressée à des ébranlements qui ne la concernaient pas originairement et comment, par ce concours, naissaient des figures nouvelles. Dans cette morphologie de néoformation, on doit, avec une vue large, comprendre tout aussi bien, dès que l'on s'adresse au vivant, les aspects anatomiques ou histologiques, que les fonctions physiologiques et les métabolismes biochimiques. Ces derniers, en effet, se traduisent en édifications et destructions moléculaires, en mutations synthétisantes et analysantes, en combinaisons chimiques et en dissociations compensatrices, en formes infra-microscopiques qui subsistent comme traces matérielles des tourbillons qui en ont été les agents déterminants, et n'ont, en fin de tout, opéré que des déplacements particulières.

Les lignes de force n'ont, évidemment, qu'une existence virtuelle, une signification symbolique. Ce sont, en quelque manière, des routes *balisées*, mais sans plus de réalité objective que l'équateur terrestre. Au vrai, elles se manifestent surtout comme des

directrices et des *organisatrices*. Faraday demandait qu'on les considérât comme des lignes de tension, toujours prêtes à se raccourcir, en même temps qu'elles se répartissent dans l'espace par l'effet de la répulsion qu'elles exercent les unes sur les autres. Par là, elles commandent à ces allongements ou à ces strictions qu'on constate dans les matières soumises à des efforts mécaniques et qu'on voit aussi se produire, dans certains azimuts des cristaux hémédriques soumis à des vibrations forcées. Mais ce que Faraday n'a pas dit, pourtant d'importance pratique capitale, c'est que, les lignes de force ne couvrant pas totalement l'espace, l'intervalle qui sépare deux quelconques d'entre elles constitue une ligne de faiblesse, une véritable *ligne de clivage*, ce qui se peut voir aussi lorsque des surtensions sont appliquées au quartz piézo-électrique. En d'autres termes, nous constatons que, dans tout champ énergétique, la matière tend, sur les lignes de force, à s'organiser en structures fibreuses et, dans l'espace à trois dimensions, en structures lamellaires sur les surfaces équipotentielles. La structure fibreuse offre une remarquable cohésion, une solidité appréciable dans le sens d'orientation de ses éléments, mais elle n'en présente à peu près aucune dans le sens perpendiculaire, ce qui permet de séparer aisément les fibres élémentaires les unes des autres, de les effiloche, absolument comme de la chair musculaire se désintègre dans un pot-au-feu.

A supposer, pour un instant, que puisse, par le moyen d'un artifice, apparaître devant nos yeux émerveillés le découpage imposé à l'éther par les champs énergétiques variés dont il est le siège permanent, nous pourrions contempler, toujours mouvantes et toujours muées, toujours naissantes et toujours disparues, des formes animées, arabesques féeriques et comme issues d'un immense kaléidoscope. Animaux et végétaux n'ont fait que fixer quelques-unes de ces formes; ce sont les grains d'électricité que le vivant échange à tout moment avec le milieu ambiant, qui dirigent et assemblent la matière selon des tracés à elle imposés dans les champs tourbillonnaires engendrés par l'activité vivante.

L'empreinte vue à l'échelle humaine. — Nous connaissons la règle du jeu : tandis que les substances conductrices, ou non

douées d'inertie, envers la forme d'énergie considérée, s'alignent sur les lignes de force du champ, les non conductrices, ou isolantes, ou inertes vis-à-vis de cette même forme d'énergie se disposent sur ses lignes ou, mieux, sur ses surfaces équipotentielles. Et l'on conçoit aisément qu'il existe tout un réseau de *lignes spécifiques*, rayonnant entre les premières et les secondes, et constituant des chemins d'élection pour le déplacement ou le rassemblement des matériaux partiellement conducteurs et partiellement isolants. *Chaque matière, comme chaque fréquence ondulatoire, possède sa voie propre lorsqu'il s'agit, soit de progresser, soit de se fixer dans une ambiance dynamisée.* C'est par là que les figures de Lichtenberg, de Wheatstone, de Lissajous, de Guehard, de Liesegang, de Weyher, et tant d'autres encore, qui n'ont jamais forcé l'attention, sans doute par la longue habitude que nous avons contractée de les fréquemment regarder sans jamais vraiment les voir, prennent un indéniable intérêt.

Celles d'entre elles qui se matérialisent chez les animaux et les plantes, y conservant un caractère relatif de permanence, doivent retenir l'attention du biologiste, en tant qu'elles sont capables d'apporter à ses études un supplément d'information à ne point négliger.

Par des calques sélectifs opérés sur les croquis représentatifs de champs, on voit combien il est aisé de faire surgir des formes pseudo-animales ou végétales. On en pourrait donner des exemples en nombre presque illimité, ce qui serait parfaitement inutile, le but que nous poursuivons étant seulement de faire comprendre un principe, et non d'entrer dans les détails d'une matière semblant inépuisable, surtout si, dans le désir de pousser plus avant l'étude des facteurs conditionnant les formes vivantes, on utilise, dans la recherche, des dispositifs semblables à ceux du campylographe, de l'harmonigraphe, du photo-ratiographe, des ingénieurs appareils de Rigge et de Queugnon, analyseurs et traceurs de courbes, restés comme pièces de musée et susceptibles, désormais, de trouver une application pratique.

L'empreinte tourbillonnaire n'étant rien d'autre qu'une expression visuelle de la fameuse *Loi du moindre effort*, sur laquelle s'assoit la meilleure part de nos connaissances du monde physique, il ne faut point nous étonner de la retrouver à tous les

tournants lorsque nous abordons l'examen du vivant. *Grosso modo*, les asters, les flagelles, les cils vibratiles, les organes sensitifs et moteurs, ont tendance à suivre les lignes actives et à

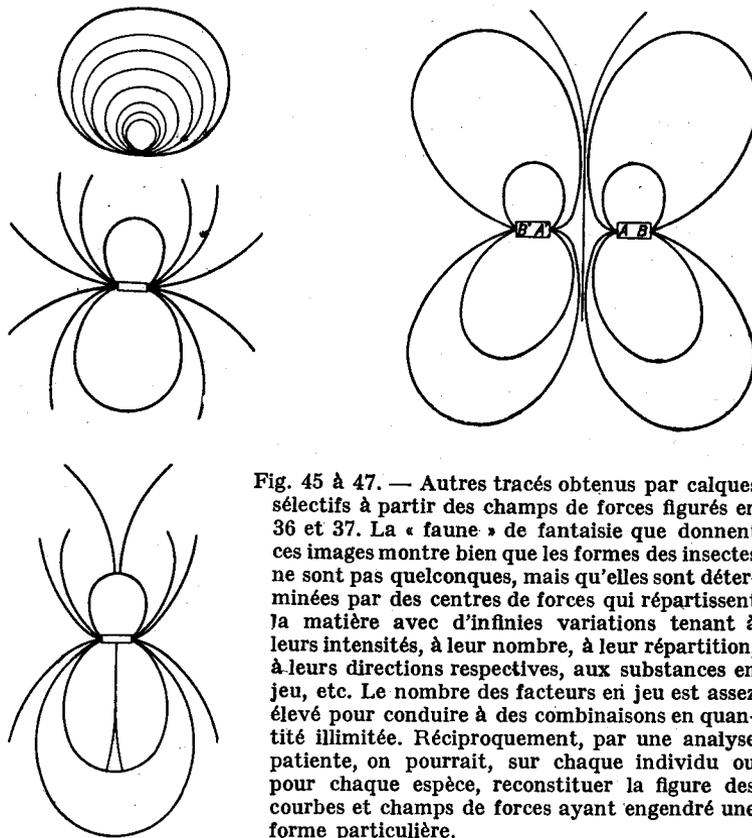


Fig. 45 à 47. — Autres tracés obtenus par calques sélectifs à partir des champs de forces figurés en 36 et 37. La « faune » de fantaisie que donnent ces images montre bien que les formes des insectes ne sont pas quelconques, mais qu'elles sont déterminées par des centres de forces qui répartissent la matière avec d'infinies variations tenant à leurs intensités, à leur nombre, à leur répartition, à leurs directions respectives, aux substances en jeu, etc. Le nombre des facteurs en jeu est assez élevé pour conduire à des combinaisons en quantité illimitée. Réciproquement, par une analyse patiente, on pourrait, sur chaque individu ou pour chaque espèce, reconstituer la figure des courbes et champs de forces ayant engendré une forme particulière.

s'établir perpendiculairement aux limitantes de l'individu — membrane, épithélium, écorce, coquille, peau — lesquelles s'établissent sur des surfaces équipotentielles. Ce phénomène est, par exemple, extrêmement net sur la coupe transversale d'un radis ou sur la section droite d'un tronc d'arbre, où nous voyons apparaître le réseau orthogonal des deux sortes de lignes, avec cette vérification que les lignes de clivage, c'est-à-dire les directions

dans lesquelles le bois se fendille lorsqu'il se déshydrate, s'établissent bien sur les rayons (lignes de force) du cercle de coupe, et non selon les circonférences concentriques (lignes équipotentielles). Ce dernier cas ne se produit qu'en des circonstances exceptionnelles et lorsque l'hétérogénéité de la matière, d'une couronne à l'autre, favorise ou provoque la séparation.

Faut-il citer les fort beaux exemples de géométrie botanique offerts par la taxinomie? Assurément non, car ce serait fuir la difficulté. Si la significative empreinte est, la plupart du temps, moins nette sur les animaux que sur les végétaux, elle y est cependant encore fort apparente.

Considérez, entre autres, cette conque d'oreille humaine, très exactement appropriée à capter et à diriger le tourbillon sonore,

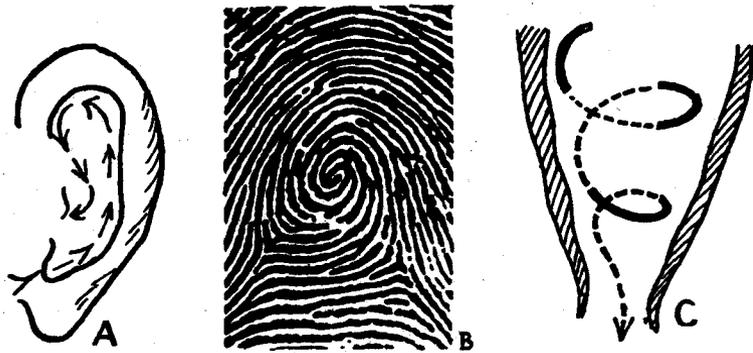


Fig. 48 à 50. — L'empreinte tourbillonnaire sur le vivant : A. La conque de l'oreille humaine dirige vers le conduit auditif les tourbillons sonores qu'elle recueille ; B. Le tourbillon central (spirale logarithmique) d'une empreinte digitale ; C. Disposition en spirale des valvules du rectum.

pour le mener dans le conduit auditif externe. Chez les équidés ou les bovidés, dont le pavillon d'oreille est en forme de cornet, des nervures hélicoïdales, véritables pas de vis, remplissent la même fonction de concentration et de direction de la masse d'air sonore.

Jetez, d'autre part, un coup d'œil sur ces valvules rectales qui, comme cela a été mis en évidence par le chirurgien canadien J. F. Montagué, au moyen d'une formolisation préalable de la

pièce, suivie de section longitudinale et d'étalement, constituent une vis discontinue obligeant les matières à s'éliminer en tournant sur elles-mêmes, ce qui réduit les frottements sur parois et facilite l'exonération. Examinez cette forme ondulatoire de l'intestin et l'enroulement particulier des fibres longitudinales de l'estomac, témoins irrécusables de la progression hélicoïdale, brassante, homogénéisante et pulsante de la masse alimentaire dans le tractus digestif. Regardez, avec un œil de physicien ou de mécanicien, tous ces asters, tous ces réseaux, toutes ces arborisations et ces villosités, tous ces tubes glandulaires et ces corpuscules tactiles où l'histologie nous offre, en véritable *leit motiv*, une floraison d'hélices, de spirales, de fuseaux, de réticules, de figures en forme d'étincelles, de strates et de stries où s'inscrit la périodicité d'une concrétion, et il devient impossible que vous restiez indifférent à un tel examen.

Nous aurons fréquemment, dans la suite de cet ouvrage, à

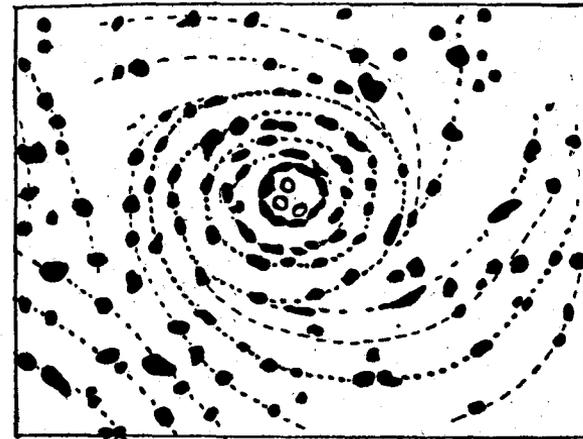


Fig. 51. — Coupe transversale dans un bourgeon de cicatrisation. Ce dessin est le calque fidèle d'une microphotographie. Nous avons simplement indiqué par un pointillé les lignes tourbillonnaires (spirale logarithmique) sur lesquelles se répartissent les cellules néoformées autour du capillaire axial.

revenir sur cette question de l'empreinte matérielle, et de nouveaux exemples en viendront tout naturellement sous notre plume en de prochains chapitres. Mais, dès maintenant, il semble

bien que notre esprit soit inéluctablement dirigé vers cette pensée maîtresse que tous nos *ingesta*, comme tous nos *excreta*, que toutes nos fonctions organiques comme toutes nos architectures spéciales au vivant, s'établissent sous la domination des lignes de tourbillons. Et l'être se trouve ainsi placé, par une constatation qui se joint à celles précédemment faites à partir d'autres observations, comme une sorte de résonateur intercalé entre deux groupes de régimes tourbillonnaires, l'un centripète, l'autre centrifuge par rapport à lui-même. Ainsi, le « tourbillon de la vie » cesse d'être un vain mot!

Résumons-nous. Notre vie, liée au tourbillon, en porte, plus ou moins durable, la trace dans tous ses détails.

Nos *ingesta* ce sont, d'une part, les *sensations* que leur origine vibratoire ou ondulatoire — lumineuse, thermique, électrique, acoustique — nous dispense d'examiner plus longuement pour l'instant; ce sont aussi les *aliments*, porteurs d'énergie chimique, réductible à des mouvements électroniques, eux aussi tourbillonnaires. Nos *excreta*? A l'image de nos *ingesta*, ils peuvent être matière ou mouvement, simples résidus pondérables ou manifestations énergétiques s'inscrivant dans les modes les plus divers : en lumière chez certains organismes unicellulaires, chez le ver luisant ou les poissons des abîmes sous-marins, en décharges électriques chez torpilles et gymnotes, en thermogénèse plus ou moins manifeste chez tous les animaux, en émissions sonores allant du cri à la parole, en locomotion et mouvements divers pouvant s'observer même dans le règne végétal, et, enfin, sous cette forme la plus immatérielle de toutes : la pensée...

En fait, la morphogénie n'aurait jamais dû être disjointe de la mécanique; tout travail qui s'accomplit nous apporte le spectacle d'une énergie qui s'emploie contre les résistances à elle opposées et qui les vainc en se transformant, en se dégradant en chaleur. Mais tout travail accompli laisse, derrière soi, une mutation de forme et change une partie de la figure de notre environnement : c'est le cylindre ou le coussinet qui s'ovalise, c'est la bande de roulement du pneumatique qui se râpe, c'est l'ornière qui se creuse sur le chemin, c'est le monument qui se ruine, mais ce peut être aussi une alluvion que le flot abandonne en se retirant, nous livrant une terre neuve et fertile... La forme,

dans ses changements, est inséparable du travail; entre elle et l'énergie, ce ne sont qu'échanges indéfiniment poursuivis de services mutuels. Pourquoi se faut-il qu'on ait si longtemps négligé les indications d'une morphologie ne se bornant pas à être purement descriptive, mais liant la forme apparue au travail qui l'a fait naître, reconstituant le passé par le présent et, par le permanent, saisissant le fugitif?

CHAPITRE XVI

ORIGINE DE LA VIE

Le mécanisme essentiel. — D'analyse en analyse, de réduction en réduction, nous sommes petit à petit parvenus à cette conception que la Vie est la résultante d'un mouvement vibratoire, mouvement qui s'inscrit dans toutes ses manifestations. Et nous sommes arrivés à cette conclusion que le résonateur est la pièce maîtresse de l'édifice vital. Nous avons rappelé que nous n'étions pas le seul à nous ranger derrière cette conception : Ch. Henri, G. Bohn, D. Berthelot, Alf. Lartigue l'ont tour à tour défendue, chacun à sa manière et avec ses arguments propres. Après avoir suivi un autre chemin que celui parcouru par ces auteurs, nous les avons, finalement, rencontrés.

Mais ce que nous voulons maintenant entreprendre, c'est de tenir cette simple idée pour une excellente hypothèse de travail, une solide base de départ, et à partir de là, montrer que tout le reste se déduit, autant dire, comme en une suite de théorèmes. C'est ce que nos prédécesseurs n'avaient pas fait, et ce à quoi nous allons nous consacrer maintenant, estimant que les résultats en valent la peine.

Naissance de la vie. — Tous les chercheurs qui ont entrepris de nous donner un tableau des origines de la vie mettent en avant cette même idée : la nécessité de conditions exceptionnelles, qui ne se reverront plus jamais sur la surface de la Terre, conditions caractérisées par la mise en jeu d'énergies formidables. Si l'on peut être d'accord sur ce point que des conditions spéciales ont été nécessaires à l'éclosion de la vie, et nous nous essaierons à les définir, nous ne le sommes aucunement sur le fait de leur attribuer quelque chose de quasi miraculeux. Nous l'avons dit précédemment et allons le préciser maintenant : pour nous,

la vie s'est présentée comme un phénomène à peu près obligé dans l'évolution physico-chimique normale de notre globe. Après quelques essais infructueux, surgis au cours de l'incessant travail de remaniement qui s'est accompli dans la suite des âges, la vie est apparue à son heure, c'est-à-dire quand le système oscillateur qui est le maître souverain de son éclosion et de son développement s'est trouvé en situation d'actualiser toutes les qualités virtuelles qu'il portait en lui.

Y a-t-il témérité à considérer que la Nature, capable de produire le quartz piézo-électrique ou la tourmaline, n'était pas tout aussi apte à engendrer un autre dispositif moléculaire jouissant de propriétés qui, lorsqu'on les examine de très près, ne sont pas si foncièrement différentes de celles du quartz qu'on le pourrait juger au premier abord? Arrêtons-nous un instant sur la question du quartz.

Le quartz piézo-électrique. — Voici un cristal qu'une pression convenable, exercée entre des points choisis, rend électrogénétique. Une torsion fait de même, et aussi une application de chaleur, de lumière ou de son. Réversiblement, le même quartz est capable, lorsqu'il est soumis à des oscillations électriques, de les transformer en lumière, chaleur, son, etc., avec accompagnement d'images que certains sont parvenus à saisir et à enregistrer dans sa structure lorsque s'y produisent les mutations d'énergie. Ces différentes propriétés qui, au fond, n'en forment qu'une seule, sont filles d'une certaine dissymétrie, d'une anisotropie tenant à la structure moléculaire particulière au quartz, mais dont on retrouve l'équivalent dans d'autres corps (tourmaline, tartrate sodico-potassique, etc.).

Or, on sait que cette même dissymétrie se rencontre aussi dans nombre de corps organiques, soit élaborés, soit assimilés par le vivant. N'est-il pas à penser que cette dissymétrie est le sceau, la marque du processus vibratoire intervenu dans l'élaboration, comme elle est le motif pour lequel, par exemple, certains ferments n'assimilent, dans l'acide racémique, que l'acide droit, tout comme un boulon dont le pas est dextrorsum se refuse à admettre un écrou tourné sinistrorsum, bien que sur même profil, même pas et même diamètre? Tout semblablement

aux corps organiques optiquement actifs, il y a des quartz dextrogyres et des quartz lævogyres.

Industriellement, une des propriétés les plus importantes qu'on ait utilisées dans le quartz, c'est celle qu'il montre de posséder, entre deux points repérés, une fréquence propre, invariable. Cette caractéristique le fait employer comme « maître oscillateur » dans les stations émettrices de T. S. F., où il est chargé du maintien de la longueur des ondes. Mais, dans des azimuts différents, le quartz offre d'autres fréquences, ce qui a permis de recourir à ses services, tout au moins en laboratoire, comme transmetteur microphonique ou comme récepteur radio-phonique.

E. P. Tawil, qui a consacré de fort belles recherches aux diverses propriétés du quartz, a constaté que, si un cristal taillé piézo-électriquement est disposé entre deux armatures reliées à un circuit oscillant, la vibration du cristal s'accompagne d'un *souffle* très puissant pour la fondamentale et les premiers harmoniques. Ce souffle se dégage sur une ou plusieurs faces du cristal et est capable de repousser des corps légers (papier, poudre de liège, etc.) ou d'éteindre la flamme d'un arc électrique. Ce souffle est dû à une pression de radiation par ultra-son. Si, en regard d'une lame émettrice du souffle, on dispose un écran formant réflecteur et que, dans cet espace on projette de la poudre de lycopode, il se forme, sur la platine supportant l'ensemble, des raies très nettes et très régulières, dont les distances mutuelles sont fonction de la fréquence à laquelle vibre le cristal. Certains grains se tiennent en suspension dans des zones bien délimitées, ce qui montre à l'évidence la nature tourbillonnaire du phénomène.

A cette rapide revue des principales propriétés du quartz, il faut ajouter le renseignement suivant qui est, dans notre pensée, d'une très haute importance. Comme maître oscillateur, le quartz est monté entre deux électrodes métalliques. Cet ensemble forme un condensateur, dont le diélectrique est le cristal. Le tout est généralement placé dans le vide, afin d'éviter les perturbations causées par des variations d'épaisseur de la lame d'air interposée entre le cristal et les armatures. Cette variation est d'importance et il est tout indiqué de l'éviter dan

un dispositif destiné à maintenir, aussi fixe que possible, une fréquence donnée. Mais tout change si l'on inverse le problème et si l'on désire, entre deux limites déterminées, obtenir des fréquences variées. Dans ce cas, il devient possible de prendre la lame d'air comme diélectrique élastique, donc à épaisseur variable. On réalise ainsi le condensateur multivibrateur auquel nous avons précédemment fait allusion et l'on se trouve placé au plus près de ce que nous considérons comme caractéristiques vitales : appareil répondant à une gamme étendue d'ondes diverses et capable de les convertir les unes en les autres.

Le calcul montre que, pour ce dernier dispositif, l'intérêt est dans une diminution de l'épaisseur de la lame de quartz, en valeur absolue et en valeur relative, cette dernière étant prise par rapport à l'épaisseur de la lame d'air. Ces conditions se rapprochent de celles possibles avec un appareil réduit à l'échelle moléculaire, avec un microcristal, c'est-à-dire dans des conditions analogues à celles du dispositif réalisé chez le vivant.

En résumé, si l'on prend en considération l'ensemble des qualités énergétiques détenues par cette production naturelle qu'est un cristal de quartz, si l'on tient compte de sa relative souplesse de fonctionnement et, également, de cette remarque faite par L. Cayeux : « Sous la forme de quartz secondaire, il a été susceptible de se développer à très grande échelle, dans des conditions de milieu n'impliquant nullement l'intervention de températures et de pressions élevées », si l'on se rapporte à un tel ensemble, il n'apparaît guère possible de refuser à la Nature d'être, à un moment donné et dans une de ses manifestations les plus banales, parvenue à créer de toutes pièces « l'oscillateur maître de vie », qui, à la matière près, ne doit pas être fort éloigné, dans son intime architecture, de l'édifice moléculaire du quartz.

Essais préliminaires. — Selon toutes probabilités, la réussite « vie » a été précédée, dans l'évolution physico-chimique de la Terre, par un certain nombre d'antériorités, non viables parce que monstrueuses ou nées avant terme. Son existence et son expansion étant étroitement tributaires du milieu qui la reçoit et l'enveloppe, chaque chose ne peut voir le jour et, mieux

encore, durer, que sous condition d'être venue en son heure : celle où le milieu l'accepte.

Pour que pût se réaliser, même dans un état embryonnaire, cet état particulier de la matière que nous appelons la Vie, une conjoncture était nécessaire : la présence simultanée, sur une aire plus ou moins étendue de notre globe, de tous les corps simples ou composés aptes à s'assembler pour former les substances dont est fait un être vivant, et de toutes les conditions météoriques propres, non seulement à l'éclosion, mais aussi au maintien de l'existence. Il fallait qu'il y eût de l'eau, de l'anhydride carbonique, des composés oxygénés, azotés, sulfurés, phosphorés et d'autres encore, peut-être, constituant des éléments primordiaux, strictement indispensables à l'édification de molécules complexes, apanages du vivant. Ces éléments primordiaux devaient donc se présenter sous des formes en permettant la dissociation aisée avant leur réincorporation dans un nouveau cycle chimique. Il fallait, en plus, que les conditions d'éclaircissement, de température, de pression, etc., ne fussent point en dehors des limites entre lesquelles se circonscrit la faculté de vivre.

Le fait que la Vie existe, montre à l'évidence que la conjoncture s'est produite. La devons-nous tenir pour un miracle? Nous ne le pensons guère, à cette réserve près, et sur laquelle nous nous expliquerons plus tard, que si le miracle dure encore en ce qui concerne l'entretien de la vie, nous n'avons en notre possession aucune observation, sûre et irréfutable, de la création de vies nouvelles à notre époque. Les investigations les plus tenaces ne nous ont jamais mis sous les yeux autre chose que des vies transmises. De soupçonner, de connaître même, la manière dont la vie a fait son apparition, cela ne résout pas de façon satisfaisante l'énigme sur laquelle, de génération en génération, ont réfléchi les hommes. La question ne sera définitivement tranchée que du jour où, en laboratoire, aura été mis en déroute le fameux aphorisme de Virchow : *omnis cellula e cellula*.

Sur les conditions primitives de la vie. — Il ne faut faire de peine à personne. Aussi, n'est-il pas opportun de nous arrêter sur tous les faux raisonnements que, même sous des plumes

qu'on pourrait croire autorisées, on rencontre à tout bout de champ dans des ouvrages tout récents de philosophie biologique. En matière scientifique, le bon sens est en passe de devenir la chose le moins bien partagée du monde. Les faits sur lesquels on puisse s'appuyer sont trop peu nombreux pour qu'on ne soit obligé à un très prudent et très consciencieux examen de ce qui nous en reste (1).

Tout se passe comme si, dans les temps passés, avaient existé une ou plusieurs conditions, n'existant plus aujourd'hui et ayant permis l'éclosion de vies fraîches, neuves, vierges, indépendantes d'un certain passé. Tout montre, et plus particulièrement l'extraordinaire abondance des vestiges minéraux qu'elle nous a légués, que la vie primitive a foisonné avec une luxuriance dont la richesse cause notre étonnement : gisements de charbons, de pétroles et de produits bitumineux, sédiments divers, et d'autres produits encore, sont les irrécusables témoins de la manifestation explosive et envahissante qu'a été la vie s'autrefois.

Est-ce à dire que la vie originelle a, brusquement ou progressivement, changé de figure et que, dans ce « vieillissement du monde vivant » dont parle Décugis, se tient le motif déterminant, celui en vertu duquel la production continue de nouveaux éléments s'est arrêtée pour faire place à une simple transmission de pouvoir?

Dans ce domaine où tout est supposition, il semble qu'il ne faille pas s'éloigner d'un certain cercle d'idées si l'on tient à se maintenir dans le vraisemblable et, du possible, à rejoindre le probable. Or, tous les hommes, ou à peu près, sont pénétrés d'un vague sentiment, plus ou moins heureusement exprimé dans cette formule courante où il est parlé « du moule dans

(1) Logiquement, nous n'avons pas le droit, que s'arrogent trop aisément de nombreux auteurs, d'interpréter le *fait négatif* de la non-observation d'un phénomène ou d'un événement, comme une preuve de la non-existence de ce phénomène ou de cet événement. Nous n'en pouvons tirer qu'une présomption, plus ou moins valable selon les cas. Nos observations sont étroitement liées à la valeur intrinsèque de nos moyens de détection et à l'opportunité de leur emploi. La science moderne est basée sur un ensemble impressionnant de faits qui étaient restés complètement insoupçonnés par nos prédécesseurs, bien qu'ils existassent de leur temps comme du nôtre. La fameuse expérience de Pasteur sur l'impossibilité d'une génération spontanée, universellement interprétée comme un critère absolu, n'a en soi qu'une valeur toute relative : celle que lui accordent les conditions de l'expérience. Étendre les conclusions que cette expérience apporte, c'est une extrapolation abusive, risquant de conduire à des erreurs capitales, du point de vue rigoureusement scientifique. Il est dommage d'être obligé à un rappel de vérités aussi élémentaires.

l'quel se tient la vie ». Formule qui s'est concrétisée, et davantage précisée, dans cette notion de *dynamisme organisateur*, mise en valeur par Brachet et par Dalcq, maintenant acceptée par tous les Biologistes. Non seulement, nous l'avons faite nôtre, mais encore nous sommes-nous attachés, précédemment, à lui donner encore plus de relief, en tâchant de dégager le principe même de ce dynamisme, qui suppose un dispositif de commande, de maîtrise dont la domination s'étend sur un territoire circonvoisin, en règle la disposition des éléments et, de cette agitation ordonnatrice, fait surgir un *ensemble figuré*, non point définitivement stabilisé comme le serait un cristal, mais entretenu par lui dans une mouvance génératrice de remaniements successifs et de perfectionnements incessants.

Nous croyons donc que, chez le vivant, existe une sorte de *germe*, dont l'action ne se limite pas, comme il arrive dans la cristallisation, à imposer une orientation indéfiniment stabilisante, mais persiste au point de remettre pendant longtemps en question les équilibres provisoires auxquels elle a atteint. Il faut donc, de toute nécessité, que ce système soit en oscillations entretenues et, par suite, qu'il puisse être impressionné par des énergies extérieures.

Ainsi posé, le problème de la naissance et de l'entretien de la vie n'apparaît pas comme théoriquement insoluble.

Qu'elle soit isotrope ou anisotrope, la cristallisation est le fruit d'une intervention étrangère à la masse substantielle qui se géométrise dans un nouvel équilibre. Cette intervention constitue un élément de contrainte, une sorte de gabarit ou, mieux encore, une *amorce formelle* représentant l'élément directeur dans l'ordonnance moléculaire produite lors de la mutation d'état. Cette dernière, d'ailleurs, n'est possible qu'à la faveur d'une certaine instabilité, d'une mobilité moléculaire liquidienne, par fusion ou dissolution.

Une telle amorce formelle peut tout aussi bien consister en un élément figuré, déjà constitué dans la structure voulue, qu'en un mouvement approprié, de nature ondulatoire. Dans le premier cas, ce sera le germe, la particule matérielle qui sera l'ordonnateur de structure et la propagation de l'état cristalloïde s'effectuera de proche en proche avec une très grande rapidité. Comme

illustration de cette conception, il suffit de se remettre en mémoire par exemple, la cristallisation de la glycérine, qui demeure en surfusion tant qu'un germe n'est pas intervenu, et, d'autre part, la prise en masse d'une solution sursaturée dans laquelle est introduit un cristal particulière appartenant au même système. On peut penser aussi aux cristallisations à option, se produisant dans un système ou dans l'autre selon que la solution a étéensemencée par un germe de l'une ou de l'autre disposition géométrique.

Dans le second cas, l'amorce n'est pas figurée. Elle est seulement *figurante*, dans le mode que nous avons précédemment étudié, et, par les lignes équipotentielles ou nodales qu'elle détermine, elle crée des lieux de repos où pourront, en des points précis, s'immobiliser atomes ou molécules. Ainsi peut apparaître encore une structure cristalloïde, ou bien un « état vitreux » que le vieillissement, dans un laps de temps plus ou moins rapide, conduira vers le cristallin.

Aucune difficulté, donc, à concevoir la possibilité d'organisation d'un dispositif vital par la seule intervention des énergies physiques ou chimiques. Et, qui plus est, l'exemple de la glycérine est particulièrement propre à nous éclairer davantage. On sait que ce liquide sirupeux n'avait jamais pu être obtenu à l'état cristallin, quels que fussent les moyens mis en œuvre, jusqu'au jour où un tonnelet de cette substance, expédié de Russie en Angleterre, arriva complètement solidifié à destination. Il est probable que ce résultat a été obtenu par action combinée du froid et des secousses répétées (on sait que C. Becquerel a autrefois prouvé que, par emploi de petites forces électriques, il était possible de produire des cristallisations analogues à celles de la nature). Quoi qu'il en soit, le fait à retenir est que la cristallisation de la glycérine s'est, à dater du moment dont nous venons de parler, obtenue par le moyen de germes cristallins qui étaient, tous, les *descendants* des germes fournis par le tonnelet en question. Autrement dit, une action première, favorable, s'étant produite en une certaine occasion, s'est perpétuée par voie de reproduction.

Protides. — La matière albumineuse est-elle antérieure ou postérieure à l'apparition de la vie? Quelques auteurs l'ont

considérée comme la substance préparatrice de la vie. D'autres, invoquant le calcul des probabilités, ont rétorqué qu'une vertigineuse consommation de siècles était nécessaire avant que la Nature réussît à fabriquer une molécule aussi complexe : mais s'il y a une histoire où le calcul des probabilités n'ait rien à voir, c'est bien celle-ci.

L'autotrophie ayant obligatoirement précédé l'hétérotrophie, les premiers êtres vivants ont eu la capacité d'édifier eux-mêmes la substance de leurs tissus. L'accord sur ce point essentiel est complet entre Biologistes. Du coup, la question que nous venons de poser est tranchée. L'édification des molécules protidiques est un acte de vie qui ne s'est, bien entendu, déroulé qu'à dater du moment où les matériaux nécessaires étaient à pied d'œuvre. Si l'on en juge sur le fait qu'il existe des Bactéries adaptées à différents milieux — sulfobactéries utilisant H_2S , ferrobactéries utilisant le bicarbonate de fer, nitrobactéries utilisant NH_3 , etc.— ledit fait laisse à penser que, du point de vue des réalisations chimiques, il existe une certaine spécificité des fréquences vibratoires.

Les virus sont-ils vivants? — Depuis que Stanley a réussi à isoler et cristalliser la protéine qui est le virus même de la maladie appelée *mosaïque*, atteignant les plants de tabac, de grands espoirs sont nés chez les Biochimistes, qui ont ainsi pensé être en possession d'un des chaînons intermédiaires existant entre le minéral et le vivant. Nous ne sommes pas de cet avis. Examinons les faits.

1° Les virus sont des nucléoprotéides, comme on en trouve de semblables dans des organismes vivants (il est bien connu que les gènes des filaments chromosomiques du noyau cellulaire sont des nucléoprotéides).

2° En dehors de la mosaïque, d'autres virus sont susceptibles de cristalliser, mais il en existe dont la cristallisation n'a pas encore pu être réalisée.

3° Une simple parcelle de virus, inoculée à un individu déterminé, et non pas quelconque, suffit à transformer ce dernier en un milieu de culture où le développement quantitatif du virus semble pratiquement illimité. Le virus se présente donc

sous le masque d'un parasite vis-à-vis de l'organisme qui en est l'hôte.

De telles données, que peut-on conclure? En premier lieu, que les virus, s'ils sont bien les produits d'un métabolisme déterminé par un « organisateur » vivant, ne constituent pas, en eux-mêmes, des vivants, au sens que nous avons attribué à ce mot lorsque nous avons séparé les éléments primaires de ceux qui sont seulement secondaires. Si nous comparons les virus aux gènes, nous sommes obligé, toujours en nous plaçant au même point de vue, de considérer les virus comme des *excreta*, c'est-à-dire comme des matières qui ont été rejetées ou abandonnées par des organismes vivants, alors que les gènes sont des produits qui ont été conservés dans les noyaux cellulaires. Lorsque nous parlerons de cette caractéristique qui a trait à l'utilisation, chez les vivants évolués, de certains de leurs déchets métaboliques, utilisation entraînant une amélioration de confort et de durée dans leur existence, nous développerons plus amplement cette considération particulière.

Nous voyons donc les virus utiliser l'appareil dynamique du vivant, et y trouver l'occasion de multiplier leur propre substance. Tout semblable au germe de cristallisation, à l'*élément de contrainte morphologique* obligeant une solution à solidifier dans son système personnel, ils déterminent l'appareil de leur hôte à élaborer un nucléoprotéide dont la spécificité est différente de celles qui caractérisent ses productions normales. Sur le plan physique, un tel trouble de fonctionnement n'est rien d'autre qu'un phénomène de résonance élargie, comme il s'en produit lorsque deux oscillateurs de fréquences voisines finissent par s'accorder sur une fréquence moyenne. Que l'organisme ainsi parasité s'en trouve affecté dans l'ensemble de son comportement, cela va de soi : non seulement, il y a *soustraction* de matériaux nécessaires au maintien de l'intégrité vitale du sujet, mais également il y a *déviations* de ses métabolismes caractéristiques. L'individu devient comparable à un atelier de fabrications mécaniques où, par défaut de réglage dans son outillage, toute l'énergie consommée se dépense dans l'établissement de « lousps » en séries, et court ainsi à sa perte.

Et nous voyons également que les gènes, en circonstances

normales, sont des orienteurs-régulateurs, des *mainteneurs* de fréquence dans l'organisme auquel ils appartiennent. Ils sont les dépositaires de sa spécificité, les transmetteurs de cet ensemble de qualités qu'on appelle héréditaires, et sur lesquelles nous aurons à revenir.

Systèmes ouverts et systèmes clos. — En résumé, la vie a pu trouver son origine dans un dispositif moléculaire omnivibrateur. Placé en milieu approprié, et agissant sous l'influence des radiations capables de lui fournir l'énergie propre à le maintenir en vibration, cet élément a déterminé dans son ambiance immédiate un régime tourbillonnaire favorable à des regroupements moléculaires doués de caractéristiques rompant avec l'univocité de l'évolution physico-chimique sidérale.

Dans cette conjoncture, l'eau a été le medium indispensable, le serviteur de tous les instants et le metteur en œuvre de toutes les dispositions préparatoires hors desquelles le phénomène « vie » n'aurait pu trouver sa raison d'être. L'ensemble de ses propriétés physiques et chimiques fait de ce corps le plus prodigieux des éléments qualificateurs, au regard des substances capables de livrer leurs atomes légers (C, H, O, N, S, P,...) et ayant permis la formation de ces assemblages nouveaux dont est constituée la matière ayant donné figure au vivant. C'est dans l'eau et par l'eau que s'est effectué le démarrage de la vie; c'est par son indispensable intermédiaire que le processus s'est poursuivi.

Tel qu'on le peut concevoir, l'appareil *organisateur*, facteur primordial de vie, a été aussitôt un puissant centre d'action, rassemblant, dans son champ énergétique, molécules et particules qu'il dynamisait, les préparant ainsi à de nouveaux groupements chimiques. Au début, ce système sidéral en miniature, avec son soleil central et les satellites retenus dans son orbite, ne pouvait être qu'un système ouvert, aux limites imprécises comme celles d'une nébuleuse. Des conditions d'ordre physico-chimique (phénomènes d'absorption, mutations d'hydrosols en hydrogels, tension superficielle, rassemblement de certaines molécules sur les lignes équipotentielles du champ d'action, etc.) ont rapidement transformé le système ouvert en système clos ou, tout au moins, possédant des limites plus aisément définissables, quoique assez

variables dans le temps, et traduisant un équilibre de forces entre milieu satellite et milieu externe, l'un et l'autre en variance continue.

Allant du centre vers la périphérie, se rencontrent donc successivement :

1° Un groupe moléculaire, énergétique, vibrateur et générateur de champs tourbillonnaires, par là même animateur des processus vitaux. C'est l'appareil essentiel, le moteur de l'être doué de vie;

2° Une aire environnante, virtuellement ou réellement close, dans laquelle, sous l'impulsion du centre dynamique, certains corps sont, soit engagés dans un torrent circulaire et actif, soit plus ou moins nettement localisés (selon que leurs aptitudes les conduisent à se déplacer sur les lignes d'action ou les maintiennent sur les surfaces de repos du champ vibratoire). Ces corps sont en situation d'être dissociés et recombinaés en associations chimiques nouvelles, édifiant des substances susceptibles de donner *un corps*, de fournir une morphologie concrète à l'ensemble;

3° Une limitante, soit figurée sous les espèces d'une membrane réelle, soit, plus simplement, résultant d'une certaine condensation de matériaux appartenant au système satellite.

Ainsi constitué, l'ensemble s'est aménagé en organisation discrète. Il a acquis une véritable personnalité. Il est devenu une unité vivante, un individu.

Deux remarques importantes sont à formuler. La première est que les matériaux dont est fait le corps de l'individu, matériaux sélectionnés, rassemblés et façonnés par le centre organisateur, portent, en leurs propriétés optiques, l'empreinte du processus qui a procédé à leur édification asymétrique. La seconde, où se traduit la primauté de l'organisateur, réside dans le fait que la disparition accidentelle des matériaux satellites peut parfaitement être suivie d'une régénération de l'ensemble, régénération s'opérant par intervention de l'organisateur sur des matériaux neufs, alors que la disparition accidentelle de l'organisateur entraîne obligatoirement à sa suite une dissociation de l'ensemble, c'est-à-dire sa mort, ce qui est conforme à toutes les observations faites sur noyaux et cytoplasmes cellulaires.

nous montrent à l'évidence que, comme la vertu, la vie a ses degrés, marqués par une réduction croissante du rapport établi entre le *potentiel* et l'*actuel*. L'être évolué est celui qui a mis en exploitation systématique toutes les possibilités latentes demeurées à l'état virtuel ou fruste chez son confrère inférieur. L'histoire de l'évolution est celle des réussites grandissantes dans l'emprise de l'individu sur le milieu qui l'entoure.

La cellule. — Depuis un siècle et demi, la théorie cellulaire a régné en maîtresse incontestée sur la Biologie. Par les observations et les expériences qu'elle a suscitées, par les discussions qu'elle a fait naître, elle a rendu d'inappréciables services à la science. Mais nous en sommes maintenant parvenus à un point où il semble bien que cette théorie ait sérieusement besoin d'être révisée. Quelques auteurs se sont déjà employés à cette besogne, où le stade de mise à bas des notions classiques s'accomplit à une cadence nettement plus accélérée que celui de la reconstruction d'une théorie nouvelle.

On définit généralement la cellule comme « une petite masse de protoplasma, renfermant un ou plusieurs noyaux ». La cellule est considérée comme l'unité morphologique, l'élément vivant primordial qui, par sa multiplication et sa spécification progressive, constitue l'essentiel de la structure d'un individu.

Sans aucunement remettre en question les faits acquis par l'Histologie, il est cependant possible et, croyons-nous, nécessaire d'introduire certaines modifications dans l'interprétation accordée aux phénomènes. Tenons-nous en à la position précédemment prise, et qui, d'ailleurs, ne fait que renouveler l'ancienne théorie de Sachs, avec ses *energides* : La pièce maîtresse de l'édifice, c'est le noyau. Dans l'ensemble dynamique auquel il appartient, il est le rouage *menant*; le cytoplasme n'est qu'une réunion de rouages *menés*. Qu'il existe obligatoirement des interactions réciproques dans le jeu total du dispositif mécanique, physique et chimique ainsi réalisé, c'est chose incontestable; mais, si l'on s'efforce d'y voir clair dans l'analyse des phénomènes, il faut d'abord commencer par s'assurer une solide base de départ.

Que le noyau soit le repaire du mécanisme organisateur de la vie, on n'en peut guère douter. Chambers, l'initiateur de la

CHAPITRE XVII

LA VIE CELLULAIRE

L'organisation tripartite. — Si nous adoptons le langage des physiiciens, l'exposé précédent se réduit à ceci : « L'appareil de la vie se compose essentiellement d'un transformateur d'énergie tourbillonnaire, réalisé à l'échelle atomique, et dont le travail individualise une certaine portion des substances ambiantes, par une suite de remaniements constitutionnels et architecturaux. Ces mutations moléculaires, ces dissociations préparantes de regroupements particuliers, adaptent de plus en plus étroitement, au cours du temps et par l'effet du travail vibratoire qui s'accomplit, le dispositif organisateur à la part d'ambiance qu'il s'associe. Il en résulte une harmonie, plus ou moins durable et sans cesse renouvelée aux dépens du milieu extérieur général, entre l'organisme directeur, proprement dynamique, et la masse matérielle asservie, interposée en manière de tampon, enveloppant le mécanisme actif en même temps qu'elle est elle-même circonscrite dans un espace restreint ».

Le dispositif vital est donc un dispositif « à étages ». Des êtres les plus simples aux êtres les plus évolués, la seule différence notable réside en ce que les étages se figurent avec une netteté qui va toujours en s'affirmant davantage, en donnant l'illusion d'une multiplication gradative qui, cependant, reste purement formelle et ne modifie en rien le principe essentiel de tripartition : centre de forces, masse-tampon enveloppante, milieu extérieur.

Mais ce thème simple est susceptible d'engendrer une inépuisable série de variations. La nature semble avoir pris à tâche de les réaliser les unes à la suite des autres, selon une ordonnance rappelant celle des fugues musicales et qui s'exprime assez clairement dans les faits d'évolution des êtres organisés. Ces derniers

microdissection, a pu constater : « Chaque région du protoplasme peut être explorée. Au moment où l'aiguille touche son noyau central, la cellule tout entière se désagrège subitement, comme un édifice qui s'écroule », et il en conclut : « Il n'y a pas de vie possible sans la présence d'un noyau ». Ce n'est donc pas torturer les faits pour les asservir à une théorie préconçue, que d'assigner au noyau le rôle capital, irremplaçable déterminant dans la vie de la Cellule.

Certes on ne manquera pas de dire : si une cellule à qui l'on a soustrait une notable portion de son cytoplasme parvient à se régénérer, une cellule privée de tout son cytoplasme dégénère et meurt. A quoi il est aisé de répondre que la mort survient parce que le noyau ne se trouve plus alors dans les conditions nécessaires à l'entretien de son existence et qu'il a été subitement privé des moyens par lesquels il pourrait rétablir un équilibre momentanément rompu. Simple question de milieu de culture adéquat. A la fois robuste et délicat, le noyau a strictement besoin de l'existence « ouatée » qui lui est assurée par le cytoplasme; il n'en reste pas moins qu'il est le « maître de l'œuvre » (1).

En conséquence de quoi, on peut affirmer aussi que, *stricto sensu*, il n'y a pas d'être unicellulaire anucléé. Si certaines Bactéries semblent être dépourvues de noyau, c'est faute, par nous, d'être en possession de moyens suffisants à mettre en évidence leur principe directeur, noyé dans la masse totale de l'élément et échappant ainsi à nos habituels moyens d'investigation.

Ces restrictions faites, et la substitution, au fameux postulat de Haeckel : *Omnis cellula e cellula*, de cet autre : *Omnis nucleus e nucleo*, étant proposée, il n'en reste pas moins que la Cellule, même dépossédée de sa qualité d'élément vivant primordial, reste un objet d'étude de la plus haute valeur biologique. Avec elle se manifeste, à l'échelle microscopique ordinaire, un noyau

(1) Nous n'avons pas voulu alourdir davantage un exposé déjà fort chargé, en parlant des *mitochondries*. Guilliermond a apporté la démonstration du rôle élaborateur de ces petits éléments inclus dans le cytoplasme. Tous les faits tendent à établir que les mitochondries sont, en quelque sorte, des *noyaux auxiliaires*. La présence de ces petits *centres dynamiques* au sein du cytoplasme ne constitue donc pas une exception au principe d'organisation tripartite de la vie. Elle nous convainc seulement de la nécessité dans laquelle se trouvent les êtres composés de multiplier et de disperser leurs centres directeurs pour atteindre à la complexité morphologique et fonctionnelle qui les caractérise. Tout se passe donc ici de la même manière que dans les machines industrielles.

qui cesse d'être masqué pour devenir accessible à certaines de nos observations.

Noyau, cytoplasme, membrane, prolongements cellulaires. — Le présent travail ne vise aucunement à constituer un traité de Biologie et, par suite, son auteur n'a pas l'obligation de passer en revue tous les faits concernant chacun des sujets traités dans un ouvrage d'enseignement. Plus modestement, il veut se borner à la présentation de quelques points particuliers et y trouver l'occasion de développements évocateurs d'aspects inédits, touchant les problèmes que pose la vie. Il n'est donc pas utile de nous arrêter, par exemple, sur les inclusions rencontrées dans la masse cellulaire : vacuoles, mitochondries, etc. Nous espérons seulement que nos lecteurs, en fonction de ce qui leur a été dit ici, trouveront dans l'examen des exposés classiques, l'occasion de se former quelques idées personnelles dans l'interprétation des faits biologiques.

Généralement en forme d'ellipsoïde à très faible excentricité, l'enveloppe du noyau procure à ce dernier un isolement tout relatif au sein de la masse cytoplasmique. L'intérieur du noyau apparaît lui-même fort complexe. Le noyau est généralement placé en position centrale par rapport au nuage protoplasmique qui l'entoure de toutes parts. On prête au noyau la propriété de pouvoir se déplacer à l'intérieur de son cytoplasme et de s'y excentrer; il est bien plutôt à penser que c'est le cytoplasme, dont on a d'ailleurs pu suivre certains courants intérieurs, qui, sous l'incitation du noyau, modifie les positions respectives de ses parties et procède à un nouveau groupement spatial de ses éléments. De telle sorte que, dans certains cas particuliers (par exemple, chez les adamantoblastes et les odontoblastes), le noyau arrive à posséder une position focale dans une ellipse très allongée et semble présider ainsi à un travail d'élaboration qui s'accomplit dans la région contrôlée par son dynamisme. De semblables mouvements migratoires peuvent également se constater dans certaines phases de la division de l'œuf et, d'une façon générale, on peut affirmer la tendance du noyau à se localiser dans les lieux de plus grande activité cellulaire ou, mieux, constater l'activation du travail cellulaire dans le champ immédiat de l'activité nucléaire.

A l'intérieur de l'enveloppe nucléaire se trouve un suc visqueux, suspension colloïdale, semblant passer aisément de l'hydrogel à l'hydrosol, et réciproquement, qui peut constituer un excellent amortisseur de chocs et protéger efficacement le dispositif dynamique du noyau. Dans ce suc baignent un ou plusieurs petits corps sphériques, les nucléoles, en même temps qu'un complexe de substances susceptibles de s'assembler en figures autour desquelles se sont établies, quant à leur interprétation, de nombreuses discussions... Faut-il voir, dans les nucléoles, des centres d'action commandant la morphologie des assemblages matériels environnants? Nous ne le savons pas. Le seul fait certain, c'est que les nucléoles cessent d'être visibles, au cours de la division mitotique, lorsque, en une véritable métamorphose qui se trouve à une autre échelle (métamorphose de l'insecte), un grand branle-bas de réorganisation se manifeste dans le territoire nucléaire.

Ce phénomène reproducteur, étudié sous l'appellation de *division mitotique*, mériterait, malgré le nombre et l'importance des travaux qui lui ont été consacrés, qu'on le remît à nouveau sur le chantier, pour le regarder avec d'autres yeux. Il se déroule en phases successives, ordonnées comme un ballet réglé à la perfection et offrant une succession d'images bien faites pour entraîner leur observateur vers un océan de réflexions. Là se tient le secret de l'un des principes essentiels de la vie. La manifestation dynamique, vitale par excellence, nous admet à considérer des dessins d'asters et de fuseaux, et d'autres figures encore où se concrétisent des champs tourbillonnaires, en même temps que les clivages qui s'opèrent peuvent être tenus comme résultant de résonances provoquant, en des points, des lignes ou des surfaces d'élection, des scissions entre particules, molécules ou atomes précédemment solidaires. Les théories physiques relatives aux phénomènes vibratoires ou oscillatoires sont, nous en avons la ferme conviction, les seules susceptibles de mettre, pour un temps, notre esprit en repos, lui apportant une explication acceptable et propre à réduire la part de mystère régnant encore sur le processus de la cariocinèse.

Si succinctement que vienne d'être présentée la question, il s'en dégage cependant cette impression que le Noyau est déjà, en lui-même, une manière de microcosme engagé sur la voie de

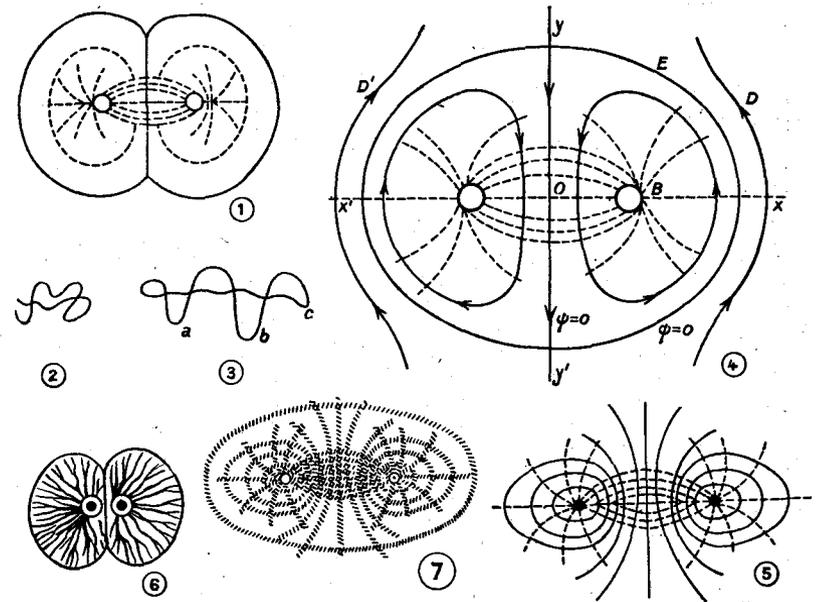


FIG. 52. — Premier plan de division de l'œuf.

Pour saisir avec facilité les explications ci-dessous il est nécessaire de ne pas perdre de vue le principe suivant, non formulé de manière explicite dans les traités classiques, mais indispensable à une compréhension rapide et objective des relations établies entre la forme et l'énergie qualitative qui la détermine : les lignes de force d'un champ d'action *irradient* en faisceaux émanant d'un centre dynamique directeur; elles constituent donc une formation discontinue, où chacun des brins représente l'axe de la trajectoire hélicoïdale suivie par une particule entraînée dans le champ et supposée ne trouver aucune résistance à sa progression; ces particules mobiles sont celles dites « conductrices » de la modalité énergétique en jeu (c'est, par exemple, le cas des électrons); les lignes équipotentielles sont les lignes d'enveloppe de surfaces attaquées perpendiculairement, en tous leurs points, par les brins du faisceau de lignes de force; elles appartiennent donc à une formation continue, sur lesquelles s'assemblent et demeurent en repos les particules inertes, ou « isolantes » pour la modalité d'énergie considérée. L'habitude de ne contempler, dans les traités, que des sections méridiennes planes, fait trop souvent oublier que les phénomènes se déroulent dans l'espace à trois dimensions et peut conduire à se former une idée fautive des réalités. Au moyen de la règle que nous venons d'indiquer, il devient très facile d'objectiver les processus en cours, et, en particulier, de transférer les enseignements fournis par la théorie des Tourbillons aux autres branches de la Physique : Electro-magnétisme, Chaleur, Optique, Acoustique. D'autre part, le mouvement naturel des particules entraînées sur les lignes de force étant hélicoïdal, comporte deux composantes, l'une de translation originellement rectiligne, l'autre de rotation circulaire et de stabilisation du mouve-

ment. Cette rotation explique parfaitement pour quelle raison les lignes de force se repoussent les unes les autres, ce qui oblige leur faisceau à aller en s'épanouissant; elle explique également pourquoi elles marquent une tendance à se raccourcir dans certaines circonstances, à s'allonger dans d'autres, comme pourrait le faire un ressort à boudin; enfin, elle rend compte de la rigidité relative des surfaces équipotentielles.

Les figures présentées par le fuseau et les asters de la division mitotique, ont une analogie assez frappante avec le « fantôme magnétique ». Il était dans l'ordre des choses que certains auteurs considérassent les centrosomes comme des centres d'attraction et les filaments du fuseau achromatique comme des guides dans le cheminement des chromosomes lors de leur ascension vers les pôles. Il est hors de doute que les images constatées sont représentatives d'un phénomène énergétique, mais les éclaircissements que nous venons d'apporter au sujet des champs de forces nous obligent à voir tout autrement que nos prédécesseurs le processus mécanique de la mitose. Tout d'abord, asters et fuseaux n'ont pas d'existence réelle; ce sont des tracés *virtuels*, matérialisés par les techniques histologiques d'imprégnation, qui n'apparaissent pas sur le vivant. En un mot, ce sont des artefacts, semblables à ceux qui se produisent lorsqu'on révèle une plaque préalablement impressionnée, dans le but de faire apparaître l'image photographique. Par contre, dans la mitose, ce qui existe manifestement, à l'état *immatériel* et non révélé chez le vivant, ce sont les lignes de force et les surfaces équipotentielles d'un réseau tensionnel dû à la présence d'un centre d'action. *Tout se passe comme s'il s'agissait d'un champ tourbillonnaire*, sans que, par ailleurs, le simple examen des figures permette d'en déterminer la nature, ou électromagnétique, ou simplement vibratoire. La théorie des Tourbillons présente ici l'avantage d'être générale et de ne pas obliger à préjuger la modalité exacte de l'énergie en cause dans le phénomène, mais elle peut fournir des renseignements non entièrement négligeables.

Il suffit de considérer les deux centres vus au microscope comme les traces, sur un plan méridien, soit de deux tourbillons immobiles et de sens contraires, soit d'un courant circulaire (torique et équivalent à un feuillet magnétique) pour en tirer quelques explications valables quant aux phénomènes constatés.

Soit, en I, une représentation schématique de la première division de l'œuf. Nous y remarquons une enveloppe ovoïde, coupée diamétralement par un plan de symétrie, qui sera celui de la segmentation. Nous y remarquons également un fuseau axial, avec ses deux globules (*nuclei*) terminaux et ses asters. Essayons de comprendre, *grosso modo*, le processus énergétique représenté par une telle image. Dans ce but, nous pouvons nous reporter à l'un ou à l'autre des deux graphiques 4 et 5. Le premier représente le système des tourbillons immobiles, donc fermés, où, en A et B, sont les traces sur le plan méridien du tableau, des lignes de courant centrales relatives à chacun des deux tourbillons. Ces lignes ont respectivement, en A et B, des sens inverses de rotation, ce qui indique une *polarité*. Le calcul indique, comme nous l'avons traduit graphiquement, qu'il existe un *corps* du système tourbillonnaire, limité par un contour, une *enveloppe ovoïde* E. Ce corps est limité par des *lignes de courant* de valeur nulle, et il est équipartagé par un plan diamétral de trace yOy' , où les lignes de courant sont également de valeur nulle. On voit donc que ce plan jouit, par destination, de la propriété de constituer un *plan de clivage*, ou de fissuration, et c'est bien, en effet, ce qui se produit dans la segmentation de l'œuf.

Le second tracé représente, dans un de ses plans méridiens, le *champ de*

forces d'un courant galvanique annulaire dont les traces sont indiquées par deux points noirs. Les lignes de force sont figurées en traits pleins, les lignes équipotentielles en traits interrompus. Cette figure n'est autre que celle produite dans la théorie du galvanomètre « des tangentes ». Elle montre comment se répartissent les trajectoires, immatérielles et calculées, soit de déplacement (l. d. f.), soit de repos (l. ég.) des particules, les unes conductrices, les autres isolantes, supposées libres de leurs mouvements dans le champ d'action. Nous voyons que les asters appartiennent au même système de lignes de repos que les lignes du fuseau. Qu'on ait pu les prendre pour des lignes d'action, le fait n'a rien d'étonnant si l'on tient compte de la réciprocité qui se marque entre l. d. f. et l. équipot.

D'autre part, que l'on considère le profil des deux segments de l'œuf à la suite de la première fissuration (et cette remarque reste vraie pour les suivantes), ou le tracé d'une ligne de courant moyenne (D, en 4), ou encore celui des lignes de force (en 5), on voit dans tous les cas des lignes à courbure totale constante, délimitant des aires minima, qui sont le fait de la tension élastique à laquelle sont soumis ces éléments obéissant au principe de rétractilité des l. d. f. précédemment signalé. En même temps, ces surfaces minima sont celles qui correspondent au champ d'action maximum, et leur profil, autrefois étudié par Weber, a pour équation, en coordonnées polaires : $u^2 = c^2 \sin \theta$. L'intérêt de ces considérations tient en ce qu'elles relèvent entièrement du calcul, se commandant les unes les autres, et sont ainsi propres à mettre en pleine évidence l'admirable harmonie comme l'économie existant dans tous les processus vitaux.

Quant au spirème, il semble marquer le début de la phase de résolution d'un anneau-tourbillon se contournant (en 3) sous l'influence d'un milieu qui s'oppose au maintien de sa forme première et qui se rompt en des points d'élection *a, b, c*, engendrant ainsi des filaments chromosomiques. Tout comme dans le phénomène d'échappement d'électricité par les pointes, les endroits où l'anneau déformé offre un rayon de courbure minimum sont des régions d'accumulation d'énergie rotationnelle. Dans un tourbillon ordinaire, c'est là que se reconstituent les anneaux secondaires; dans les filaments chromosomiques recourbés en forme de V, le sommet du repli constitue un véritable pôle d'énergie, dont la présence suffit à expliquer les mouvements des chromosomes et leur répartition symétrique, initialement perpendiculaire au fuseau, dans le champ des sphères polaires.

En 6, début de fissiparité d'une Noctiluque (d'après C. Robin). En 7, schéma de la conjugaison chez *Actinophrys sol.* (d'après Schaudinn). On voit combien ces figurations sont proches de la théorie.

l'organisation, c'est-à-dire d'une vie supérieure et en cours d'évolution, alors que sa présence à l'état diffus chez les Bactéries se peut comparer à la nébuleuse, stade précurseur de la naissance d'un monde se dissociant pour se condenser en unités discrètes — astres d'abord, planètes ensuite — comme on suppose que cela s'est autrefois passé dans notre système solaire.

Le principe tripartite, énoncé précédemment, se manifeste perceptiblement dans le globule nucléaire. Par là même, nous

sommes astreint à regarder le cytoplasme, non pas seulement comme l'unique système-tampon interposé entre le centre dynamique et le milieu extra-cellulaire, mais bien comme un nouvel étage, un échelon supplémentaire, venant « feutrer » davantage les relations obligées, avec les heurts qu'elles entraînent, entre l'entité spécifiquement vivante et l'ambiance où elle est contrainte à se maintenir et à se développer.

Le cytoplasme n'a pas de forme générale qui lui soit propre et il ne possède de dimensions particulières hors de celles qui lui sont imposées en fonction du contrôle exercé par le noyau, de la limitation déterminée par la présence possible d'une membrane réelle et des diverses contraintes imposées par le milieu ambiant. On peut mesurer par là combien est précaire la considération du seul aspect morphologique de la cellule.

Limite de croissance. — L'examen de la vie en tant que « processus d'envahissement » nous la montre s'affairant à l'étalement de ses unités, à la fois dans l'espace et dans le temps. Par la croissance et la multiplication, s'il n'y avait des forces adverses pour s'opposer à une victoire trop rapide, les éléments vivants arriveraient à peupler l'univers entier et à le « paver » définitivement. Ces mêmes éléments adoptent des dispositions, assurément très variées, leur permettant de durer le plus possible, soit individuellement par effet direct de ces dispositions, soit par l'effet indirect de la multiplication qui perpétue l'espèce ou la variété, et non plus uniquement les individus.

Or il existe entre les masses du dominant et du dominé un certain rapport nucléo-plasmatique, qui se marque par un optimum nécessaire à la bonne conservation de l'ensemble et varie dans des limites assez peu étendues, soit dans une espèce cellulaire définie, soit par comparaison entre deux espèces différentes. Ce rapport marque une harmonie nécessaire entre les deux composants de la cellule, un équilibre qui s'établit entre besoins de la vie et moyens de les satisfaire. Le cytoplasme n'est donc pas un simple satellite. Il vit *pour et par* le noyau. Les échanges matériels ou énergétiques entre l'un et l'autre se poursuivent avec une activité variable, mais continue, bonne à montrer que les oscillations de l'omnivibrateur vital requièrent un certain entre-

tien et une constance relative de milieu, conditions qui sont toutes deux nécessaires à une poursuite du travail.

L'observation montre que, quelle que soit leur appartenance et, par suite, leurs conditions d'existence, quelles que soient aussi leur forme générale et les fonctions qui leur sont dévolues, les cellules se tiennent, abstraction faite des prolongements qu'elles peuvent accessoirement présenter, dans des limites dimensionnelles relativement resserrées, comprises entre quelques μ , pour les plus petites, et un maximum d'environ 200 μ , pour les plus volumineuses. Il y a donc une sorte d'impossibilité, pour les éléments cellulaires, à dépasser une certaine taille; chaque élément semble obligé à se maintenir dans un certain gabarit, qui s'inscrit à l'échelle microscopique, juste milieu entre l'échelle moléculaire minérale et celle des grands individus tels que l'Homme.

Lorsque la cellule croît, un moment survient donc où les conditions de sa survivance l'obligent à se fragmenter, à se cliver, tout comme un tourbillon principal se fractionne en tourbillons plus menus, dès que son énergie propre devient insuffisante à l'entretien d'une masse exubérante entraînée dans son vortex. Cette fissiparité est un phénomène quasi automatique, lié à un rapport de volume à surface. La division s'effectue lorsque, par ses enrichissements successifs, la masse satellite du centre dynamique commence à déborder le contrôle de celui-ci, tout comme un état perd en cohésion ce qu'il gagnait en étendue.

La force du nombre. — Dès son apparition la vie s'impose, tout au moins, s'efforce d'y réussir. Ce principe de domination, qui la caractérise, elle le tient de sa nature vibratoire, ondulatoire ou pulsatoire. Il se traduit par la mise en œuvre d'une infinité de moyens, dont le plus simple, vraisemblablement le premier en date, a résidé dans ce processus de multiplication débordante, explosive, qui l'a fait se répandre en un nombre astronomique d'individus s'accumulant en certaines régions de notre globe. Leurs vestiges minéralisés s'offrent maintenant à notre exploitation dans les immenses gisements pétroliers, charbonniers, calcaires, siliceux et autres, par lesquels la vie d'à présent prend ses assises sur la vie du passé, et s'y emploie à compromettre la vie de l'avenir.

Le foisonnement extraordinaire de la *vie germinative* et transmissible, de la vie de propagation qui a indubitablement été celle des origines, n'a pas disparu sans retour. Il s'est maintenu dans les cellules-œufs des êtres actuels. Mais rien n'est plus propre à nous faire saisir le véritable sens de la vie que cet amenuisement évolutif de l'ovogénèse dans l'échelle ascendante de l'organisation des vivants : la vie se consume, et finira par s'épuiser sans lendemain, dans le luxurieux développement de ses possibilités. C'est là un problème qui est presque d'Économie politique, si l'on tient le lot des cellules germinatives pour un capital à transmettre par héritage, et celui des cellules *somatiques* pour un ensemble d'acquêts périssables, ne pouvant se renouveler autrement que par impossible emprunt à un capital inaliénable. La théorie de Weismann, exposée dans tous les traités classiques, répond à une grande vérité par la distinction qu'elle établit entre cellules d'inégale valeur au regard du phénomène « vie », celles du *germen*, qui la maintiennent dans le cours des temps, et celles du *soma*, qui constituent seulement un épanouissement provisoire de qualités concédées par les premières. L'étude de la spécificité cellulaire jointe à celle du principe de la division du travail nous précisera ultérieurement ce que ces notions premières peuvent comporter encore de flou.

En fait, si la vie s'est répandue, avec le succès primitif que l'on sait, en s'appuyant sur la force du nombre, ce n'est point par là qu'elle a pu réellement progresser, mais bien plutôt dans l'exploitation systématique du principe d'association, qu'elle a appliqué selon des modalités fort diverses, mais que l'analyse peut ramener à deux types essentiels : l'assemblage colonial et le symbiotique.

La colonie, formée par la réunion d'un nombre éminemment variable d'individus similaires, en quelque sorte répondant à un type « standard » assez nettement affirmé, la colonie n'avait pas devant elle un avenir très brillant. Les amas de spongiaires ou les massifs coralliens marquaient à peu près le terme d'une évolution bornée, et la conquête du monde inorganisé n'y prenait guère figure autrement que par valeur pondérale. Cependant, du point de vue des mécanismes mis en jeu, un certain enseignement est possible à tirer de ces réalisations, dont il est demeuré d'im-

portantes traces dans les organisations les plus progressives.

A y regarder de près, lorsqu'on jette un coup d'œil sur les Protistes, on s'aperçoit que les êtres vraiment unicellulaires y sont beaucoup moins nombreux que ne le veut l'enseignement de la Zoologie. Si, comme nous l'avons fait, on voit dans le noyau l'essentiel du phénomène vital, et dans le cytoplasme un phénomène appendiculaire, surajouté, accessoire, un véritable épiphénomène, on est tout de suite entraîné vers cette pensée que la plupart des Protozoaires, êtres monocytaires par définition, sont, au vrai, ou coloniaux, ou *plasmodiaux*, parce que visiblement plurinucléés. Ces noyaux multiples sont, soit nettement distincts les uns des autres en formant une sorte de syncytium, soit accolés en un chapelet plus ou moins rectiligne faisant songer à une amorce de névraxe, soit encore réunis en amas aux aspects variables, et ils baignent dans un cytoplasme commun qui, fréquemment, se dispose en telle manière que sa morphologie tend à devenir fonctionnelle. Celle-ci offre à considérer soit une cavité orale, soit un tractus digestif, soit des fibrilles rétractiles à tenir pour des embryons de muscles, soit des vésicules pulsatiles, bref, des rudiments d'appareils vitaux.

Étalement dans le temps. — A différentes reprises, nous avons été conduit à dire que la vie tendait vers un étalement dans l'espace et dans le temps. Nous n'avons parlé, jusqu'ici, que du seul étalement spatial. Or, le second n'est pas moins intéressant que le premier. Il lui est même intimement lié. Au point qu'il n'est guère possible de séparer avec netteté ce qui appartient au pur domaine de l'espace, d'avec ce qui revient au seul domaine du temps. Ainsi, peut-on affirmer que la division cellulaire, qui correspond finalement à une extension de volume et de masse, mais qui représente également un processus de rénovation de l'être, intéresse uniquement le facteur espace, alors que, non moins visiblement, et par le fait même de la rénovation, elle prolonge, dans sa descendance, la durée de la cellule génitrice.

Lorsque le noyau s'enveloppe d'un cytoplasme, il interpose entre lui-même et le reste du monde un médiateur qui n'est rien d'autre qu'un *temporisateur* agissant sur plusieurs plans différents : 1° protection contre les atteintes d'ordre physique pou-

vant provenir de l'ambiance; le cytoplasme-tampon *dilue dans le temps* la violence du choc reçu (1); 2° dans l'ordre chimique, il est régulateur des échanges nutritifs nécessaires à l'existence du noyau; 3° d'autre part, les interactions se produisant entre cytoplasme et noyau sont utiles, par effet réfléchissant : une solidarité s'établit entre les deux éléments de l'appareil cellulaire, conduisant à une dépense énergétique moindre pour production d'un même effet, d'où résulte une prolongation de vie pour le couplage ainsi réalisé.

Lorsque la Cellule s'entoure d'une membrane, son isolement au sein du milieu externe s'affirme davantage encore. Cette membrane peut aller jusqu'à se calcifier et à réaliser de la sorte une armure très efficace contre certaines modalités agressives. Mais on ne saurait gagner sur tous les tableaux à la fois, et il en est un peu des coques et des tests comme du blindage dans lequel s'enfermaient les chevaliers d'autrefois... L'invulnérabilité contre certaines attaques prévues peut mettre un organisme à la merci de ce qu'il n'avait pas prévu. Au surplus, la vie claustrée, la vie ralentie et mise « en veilleuse » se prive de ces agitations et de ces heurts qu'Hippocrate, à juste raison, considérait comme nécessaires à l'entretien de l'existence.

Algues et Champignons. Autotrophie et Hétérotrophie. —

La vie n'a pu naître et se maintenir un certain temps qu'en donnant lieu à la production d'éléments autotrophes, c'est-à-dire capables de réaliser par eux-mêmes les substances ternaires et quaternaires nécessaires à la formation et à l'entretien de leur substrat matériel. L'hétérotrophie, qui n'est qu'un parasitisme direct ou indirect, immédiat ou différé et qui est la caractéristique des individus dont la vie est conditionnée par un approvisionnement renouvelé en glucides et protides soustraits à d'autres éléments vivants, l'hétérotrophie n'a pu que succéder à l'autotrophie. Elle n'a été, dès son origine, qu'un des nombreux moyens par lesquels le vivant, ou ménageait ses disponibilités énergétiques, ou en augmentait le taux, en réduisant le travail de synthèse auquel il était précédemment astreint.

1. Les dimensions de l'impulsion (quantité de mouvement) sont $L M T^{-1}$; il s'ensuit que l'augmentation de T réduit proportionnellement la valeur de mv . Voir p. 79 le § relatif aux systèmes-tampons.

Les Algues monocellulaires, qui réalisent, avec l'aide des rayons solaires, la synthèse de l'Anhydride carbonique et de l'Eau, pour en obtenir les Glucides nécessaires à l'édification de leurs Protides tissulaires, sont des êtres autotrophes. Menant une vie anaérobie, elles ont pu faire leur apparition sur la Terre à une époque où l'atmosphère de celle-ci était encore sans Oxygène. On sait même que la tendance présente est de considérer l'atmosphère oxygénée actuelle comme un legs de la vie des végétaux, la constance de la teneur en Oxygène de cette atmosphère résultant d'une sorte d'équilibre établi entre la vie aérobie et la vie anaérobie se développant sur notre globe.

Les travaux des Paléobotanistes ont montré que certains Champignons monocellulaires, les Ascomycètes, sont directement apparentés aux Floridées, qui sont des Algues rouges. Comment s'est effectué ce passage? Très probablement, au cours d'une des révolutions terrestres qui ont fait surgir des continents dans des régions précédemment envahies par les eaux, des Algues se sont trouvées émergées et retenues dans des vasières, devenues par la suite un sol affermi. Leurs conditions de vie s'en sont trouvées bouleversées, et leur tendance parasitaire s'est d'autant mieux développée qu'elle leur était, en quelque sorte, imposée par le nouvel habitat au sein duquel elles étaient désormais appelées à se développer. C'est, retournée, l'histoire du radeau de la Méduse, mais transférée aux temps préhistoriques!

Les Algues ont donné lieu à de très nombreuses recherches dont l'intérêt n'est pas seulement d'ordre théorique. C'est une très profitable « hypothèse de travail » que les considérer comme ancêtres de tout ce qui vit actuellement sur terre, Bactéries comprises. Si, par simple convention, on leur accorde le caractère végétal, on est automatiquement amené à reconsidérer la Systématique, tout au moins en ce qui concerne les êtres inférieurs. Les difficultés que l'on rencontre dans le classement de certains de ces derniers tiennent à ce que l'on est parti de données empruntées à l'observation d'individus déjà fort évolués. Le problème a été abordé par le haut au lieu de l'être, comme il se devait, par le bas et en allant du plus simple au plus composé. Des diverses considérations que nous allons développer à partir de maintenant, il sera possible d'asseoir la classification des animaux

et des végétaux sur des bases renouvelées, s'appuyant sur la notion de relativité de l'animalité ou de la végétalité, qui ne sont, chez les êtres composés — Métazoaires et Métaphytes — qu'une affaire statistique, tout comme la sexualité.

Si nous ne tenons pas compte de l'autotrophie — caractère occasionnel, contingent, ainsi que le prouve la dérivation de certaines Algues vers le sous-embranchement des Mycètes — nous rencontrons chez les Algues uni ou paucicellulaires divers caractères dignes de retenir fortement l'attention : A) Apparition d'une membrane cellulaire; B) Fonction pigmentaire, chlorophyllienne ou autre; C) Propension à végéter sur des surfaces et non en des volumes; D) Tendance à la formation d'assemblages coloniaux, jointifs; E) Disposition à pousser des prolongements vers l'extérieur, sous forme de cils vibratiles ou de flagelles, lui apportant des possibilités de relations motrices et sensibles avec l'ambiance.

Ces propriétés nous ont décidé, par comparaison histo-physiologique, à assimiler les épithéliums aux Algues, dont ils semblent être les descendants directs ou dont, tout au moins, ils ont recueilli l'héritage.

Nous ne pouvons ici que donner un très bref commentaire sur chacun des points ci-dessus :

A) Appareil de dialyse ou d'ultra-filtration la membrane remplit un rôle physico-chimique éminent dans la vie de la cellule, à laquelle elle assure un travail plus fin dans ses remaniements anaboliques et cataboliques incessants. De plus, l'enveloppe donne à la masse vivante qu'elle enclôt, un contour nettement défini, une *figure précise*, une *vraie personnalité*. Par elle, la vie s'est élevée sur le plan supérieur de l'Individu.

B) Il est classique de lier l'autotrophie de l'Algue à sa fonction chlorophyllienne, celle-ci étant considérée comme la cause nécessaire de celle-là. Nous nous sommes depuis longtemps élevé contre la tendance fâcheuse qui consiste, de la coexistence de deux phénomènes, à conclure que l'un est la cause de l'autre; on y risque deux sortes d'erreurs : la première, souvent commise, est de prendre l'effet pour la cause, ou réciproquement; la seconde est de n'avoir pas discerné que les deux phénomènes coexistants sont, l'un et l'autre, dépendant d'un troisième phénomène qu'on n'a

pas soupçonné et que le faux raisonnement établi risque de masquer pendant fort longtemps.

Il est maintenant prouvé, par emploi de l'isotope C¹⁴ que la synthèse des hexoses est accomplie par le protoplasma, et non par la chlorophylle, ainsi que nous nous étions attaché autrefois à le soutenir, en montrant que la signification des pigments, en général, était de remplir une fonction modératrice vis-à-vis des métabolismes qui les engendraient. Pour nous, la chlorophylle remplit un rôle physique d'écran sélectif envers les radiations solaires, et elle améliore un rendement directement lié à la longueur d'onde utilisée lors de la synthèse, d'une part, et à un éclaircissement optimum, d'autre part.

C) Tous les Auteurs qui se sont livrés à l'étude des Algues ont été frappés par l'étonnante richesse de leur morphologie. Que l'on considère les Algues unicellulaires s'allongeant et se ramifiant en tous sens, ou des individus pluricellulaires, déjà plus évolués et se distinguant par un axe fondamental garni de systèmes appendiculaires leur donnant, selon l'expression de Chadefaux « un port plus ou moins buissonnant », le mode de progression dans l'espace conserve une certaine uniformité dans son dynamisme : ces poussées rameuses, ces arborisations, ces digitations ont, à s'y méprendre, figure d'étincelles électriques qui, apparemment rectilignes et réellement hélicoïdales lorsqu'elles sont courtes, s'allongent en se divisant de plus en plus finement et se ramifient sous la pression des résistances adverses s'opposant à leur cheminement.

Encore qu'il apparaisse comme le plus important et le plus caractéristique, l'arrangement rameux n'est pas le seul que nous ayons à distinguer chez l'Algue. Sa propension aux assemblages en plaques, en cylindres formant des tubes creux, en sphères évidées, est fort curieuse. On la dirait affairée à *délimiter des contours*, à construire des enveloppes présentant tantôt l'aspect d'une pellicule, tantôt celui d'un appareil vasculaire, tantôt celui d'une vésicule. Quelquefois même, lors de la reproduction, dans le développement du cystocarpe, se révèle un aspect mûri-forme, une sorte de *morula* tout à fait typique.

L'inclination de l'Algue vers l'établissement d'éléments de superficie ou de recouvrement, qui la pousse à occuper le maxi-

num de surface par rapport à son volume propre, est fort significative. Elle inclut de nombreuses possibilités, préparant une véritable vocation, qui est due, tout simplement à sa propriété de se développer sur les surfaces équipotentielles d'un champ de forces.

D) Une caractéristique non moins éminente de l'Algue est sa « sociabilité », qui l'incite à entrer dans des assemblages coloniaux, où les éléments constitutifs se disposent volontiers au « coude à coude », en formation serrée, et se réunissent soit par juxtaposition, soit par stratification. Ainsi l'Algue est idoine à « paver » une aire déterminée, ou à préparer des plans de clivage dans les tissus qu'elle compose. Que les cellules soient réunies en files simples, en réseaux ou en lames compactes, toujours cet ensemble se distingue par sa continuité et par une souplesse, une flexibilité et une ténacité surprenantes, toutes qualités préparant une aptitude sélective à la constitution d'enveloppes pourvues d'une adéquate résistance mécanique jointe à une parfaite adaptabilité.

E) Le plus étonnant, dans les appendices poussés par les Algues, c'est qu'ils nous font voir chez un végétal, totalement et indiscutablement végétal, les formes embryonnaires de deux fonctions — la sensibilité et la motricité — habituellement considérées comme apanages du règne animal... C'est pour cette raison, et quelques autres encore, dont il sera parlé un peu plus loin, que nous serions heureux de voir la Systématique s'instaurer sur de nouvelles bases.

En résumé, non seulement nous nous rangeons à l'opinion de L. Emberger : « Il n'existe aucun caractère de végétal supérieur qui ne soit à l'état d'ébauche chez l'Algue », mais nous sommes tenté d'aller encore plus loin. Pour nous, l'Algue est la *Venus genitrix* de tout ce qui, dans le monde qui nous entoure, a soufflé de vie. La cellule épithéliale et l'ectoderme, avec toutes leurs productions organiques, appartiennent à sa descendance directe. Ce sont des *cellules phycoïdes*, cellules-mères, aux aptitudes d'une variété surprenante, cellules totipotentes, éléments morphogènes, directeurs, organisateurs.

Le Champignon, d'abord classé comme végétal, l'a été ensuite comme animal, pour revenir ensuite à sa première condition.

Les hésitations de la Systématique, au sujet de cet élément, sont compréhensibles. Provenant de l'Algue par une dérivation d'ordre nutritif qui en a bouleversé la morphologie, le Champignon unicellulaire offre le tableau de tous les caractères spéciaux par lesquels se manifeste un organisme essentiellement voué à la vie parasitaire et, pour nous, il est le premier représentant du caractère animal (1).

Tendance monotone de sa morphologie, exubérance d'un développement qui s'accomplit en masses s'orientant dans les trois dimensions de l'espace selon la direction radiaire des lignes de forces d'un centre d'action, taux élevé des oxydations tissulaires, tendance nettement parasitaire, tels sont les principaux attributs du Champignon. Nous les commenterons très brièvement.

A) La morphologie du Champignon ne s'est établie que par degrés, par variations s'échelonnant des formes primitives de carence, aux formes de pléthore, qui marquent des apex d'évolution. Les premières sont plus proches de l'Algue originelle : la végétation s'y manifeste sous l'aspect d'un thalle poussant des filaments mycéliens. Ceux-ci, selon les circonstances de nutrition et d'ambiance, s'assemblent en tissus à texture plus ou moins serrée, ou en pelotons tantôt lâches, tantôt compacts.

Dans les formes de pléthore, qui marquent une spécification plus étroite des éléments, le mycélium se réduit progressivement jusqu'à disparaître et des formes cellulaires de passage, plus ou moins vagues et variables, mais à tendance globuleuse — ellipsoïdale ou sphérique — font leur apparition. Il nous est impossible d'entrer dans le détail des variations morphologiques que déterminent les modifications de nutrition, par exemple chez les Levures (Ascomycètes) ou les pseudo-Levures (Basidiomycètes ou autres). Nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer aux travaux de Guilliermond, qui a magistralement exposé tout ce qu'il faut en savoir. Nous ne retiendrons que ce point capital :

(1) En se fondant sur cet argument que le végétal a établi sa nutrition sur l'imbibition et l'osmose, alors que l'animal peut dévorer des proies solides, Dangeard a entraîné les convictions vers la végétalité du champignon. Mais, outre que les plantes insectivores font exception à cette règle, il convient de remarquer que le phénomène de l'*assimilation* chez l'animal (phénomène à ne pas confondre avec la simple *ingestion*) s'établit aussi sur l'imbibition et l'osmose. Nous nous maintenons donc sur notre point de vue : caractère hétérotrophe de l'animalité.

le lien étroit qui existe entre morphologie et mode habituel de nutrition.

L'adoption d'une forme globuleuse va de pair avec l'abandon, plus ou moins affirmé, de l'enveloppe limitante. De l'organisme voué à l'étalement qu'est l'Algue, nous passons à un autre, dont le développement s'accomplit à peu près également dans toutes les directions de l'espace, c'est-à-dire en volume, à partir d'un centre de poussée ou de deux foyers très voisins l'un de l'autre. Après disparition de la membrane, le seul frein s'opposant à une croissance indéfiniment poursuivie, c'est la cohésion progressivement abaissée des particules matérielles de l'élément, au fur et à mesure que ces particules s'éloignent du centre directeur. Théoriquement illimitée, l'expansion rayonnante s'arrête par défaut de nutrition et de cohésion des éléments périphériques.

B) Si la fixation se présente comme un caractère essentiel de l'hétérotrophie, il s'en faut, cependant, qu'elle soit un caractère absolument obligé : il faut distinguer entre l'élément baignant dans un milieu nutritif où il jouit d'une liberté relative, et l'élément strictement parasite, qui s'attache à son hôte et y perd l'entier, ou presque, de sa liberté. Le mycelium peut être apparemment absent dans le premier cas. Mais, formation protéiforme, il peut aussi se déterminer vers d'autres emplois : poussant ses prolongements arborescents, il développera de longs filaments se contournant en épais feutrages ou s'anastomosant de cellule à cellule, de telle sorte que les liaisons de juxtaposition des Algues sont ici substituées par des liaisons de centre à centre. Les tissus ainsi réalisés présentent une certaine laxité, caractéristique des assemblages mycoïdes.

C) L'Algue exhale de l'oxygène. Le Champignon en consomme. Si nous prenons les Levures comme exemple, il semble que leur vie soit indéfectiblement liée à la possibilité qu'elles rencontrent de s'approvisionner en oxygène. Largement aérées, elles poussent avec activité leurs milliers d'articles. Que l'air leur fasse défaut, elles vivent au ralenti, elles fermentent en même temps que leur membrane s'épaissit et que le glycogène s'accumule à la périphérie du protoplasma. En somme, la forme Levure marque une transition entre l'état phycoïde et le mucoïde franc; ce sont les conditions de nutrition qui incitent le métabolisme à

se déterminer dans un sens ou dans l'autre. En milieu sucré et gorgé de réserves quaternaires, la Levure s'oriente vers l'autotrophie, s'isole et amorce un retour vers l'Algue ancestrale; elle se dirige vers l'enkystement et l'état saprophyte; elle fermente et édifie des complexes biochimiques. Avec un taux suffisant d'oxydations, elle brûle ses réserves, édifie de nouveaux tissus, multiplie ses filaments mycéliens, se rapproche de la condition des moisissures et s'affirme dans la condition mycoïde. L'Algue élément sobre et faible consommateur d'oxygène dépolarisant, nous offre le prototype des « formes de résistance ».

D) Le passage de l'Algue au Champignon, du phycoïde au mycoïde, ne fait que se répéter dans le passage de l'épithélial au conjonctif. Sauf en des cas fort exceptionnels, cette mutation ne peut s'accomplir que dans un seul sens, toujours le même — du phycoïde au mycoïde — et il revêt ainsi l'allure d'un processus irréversible, tout au moins dans son intégralité, selon la loi de Baron, qui s'applique aux cellules comme aux individus et aux espèces : « Plus ils s'embranchent, plus ils se déterminent. »

Certes, on considère les cellules conjonctives comme ne possédant pas de forme propre et l'on met en avant leur propriété de se mouler sur les parties avoisinantes, dont elles gardent l'empreinte, ce qui les fait apparaître tantôt fusiformes, tantôt étoilées ou godronnées. Mais ce sont là des aspects dérivant d'une sorte de « moulage sous pression » et cette morphologie *de contrainte* est directement liée à la poussée expansive de l'élément. Par ailleurs, l'aptitude du conjonctif à former des stromas et des tissus de liaison, l'inclination à « meubler » les espaces clos qui lui sont offerts, constituent sans conteste une propriété spécifique de la cellule mycoïde originelle.

CHAPITRE XVIII

ORGANISATION PROGRESSIVE DE LA VIE

L'Affrontement des éléments vivants. — Le principe d'association, dont l'expression la plus simple se rencontre dans les associations coloniales et qui est déjà une sorte de parasitisme « n'osant pas dire son nom », peut se manifester en une forme toute différente de celle où s'assemblent des éléments standardisés et ne profitant, dans leur réunion, que d'un effet de masse.

Lorsque s'affrontent deux éléments appartenant à des espèces différentes, s'établit aussitôt cette « *struggle for live* » mise en évidence par Darwin et qui a connu la fortune que l'on sait. Certes, on peut poser en principe que *le vivant vit du vivant...* Mais c'est là, une sorte d'équation générale, et la nature s'est appliquée à la discuter très finement. Entre les cas extrêmes de l'être qui en dévore un autre et s'incorpore sa substance sur-le-champ, et celui où il arrive à se former entre les deux partenaires une association équilibrée, durable, où chacun apporte à l'autre ce qui lui manque, de nombreuses transitions existent : parasitisme immédiat, parasitisme différé, commensalisme, mutualisme, antibioses, symbioses. En fait, il y a autant de manières, pour un être vivant, de tirer parti, de profiter d'un autre vivant, que l'agresseur a de besoins ou d'appétits à satisfaire. La liste en est longue!

La recherche du profit n'est qu'un des aspects de cette nécessité de durer, qui est un des caractères essentiels de la vie. Mais il n'est guère possible de bien saisir l'intérêt du problème posé par les relations mutuelles entre associés, si on ne le considère pas dans toute son étendue et avec toutes ses nuances, et si l'on trace une ligne de démarcation trop rigide entre colonie et symbiose d'une part, symbiose et parasitisme, d'autre part. Chacune des modalités peut nous éclairer sur les détails de l'autre.

Symbioses. — Sous ce nom, on a pris l'habitude fâcheuse d'englober toute une série de phénomènes assez disparates. Plus précisément, nous réserverons le terme « symbiose » à la constitution « d'une seule unité physiologique *apparente* et nouvelle, par la conjonction de deux unités morphologiques de caractères systématiques distincts ». Cet énoncé est celui de Van Tieghem, légèrement remanié dans un but de meilleure adaptation aux faits que nous désirons envisager. Aucune frontière ne se peut tracer avec netteté entre Parasitisme et Symbiose. Ces dernières sont des réussites naturelles dont le point de départ se situe dans le premier. Elles constituent un Parasitisme mutuel en équilibre plus ou moins stable et souvent prêt à se rompre.

Lorsqu'en 1867, Schwendener annonça que les Lichens n'étaient pas des plantes simples et qu'il ne fallait pas voir en eux une individualité végétale au sens ordinaire du mot, mais une production phénoménale, il fut violemment combattu par les savants de l'époque et, plus particulièrement par le célèbre phycologue Nylander, qui traita cette découverte « d'hypothèse absurde, car on pourrait aussi bien prétendre que le foie et la rate constituent un parasite des Mammifères... »

Cependant, les travaux de Dangeard, de Bornet, de Bonnier, de Chodat vinrent par la suite montrer que Schwendener était dans la vérité, les Lichens étant bien constitués par une association intime entre une Algue et un Champignon. A tel point que, plus tard, on parvint à constituer en laboratoire des Lichens de synthèse, d'espèces nouvelles, par association de Champignons et d'Algues qui ne s'étaient pas encore couplés dans la nature.

Dans les conclusions de son mémoire de présentation, Schwendener avait avancé que, dans la symbiose lichénique, il y avait un maître : « Ce maître est un Champignon de l'ordre des Ascomycètes, un parasite accoutumé à vivre du travail d'autrui. Ses esclaves sont des Algues vertes qu'il a cherchées autour de lui, ou plutôt qu'il a saisies, en les forçant à le servir. Il les environne, comme une Araignée entoure sa proie, d'un réseau fibreux de mailles étroites qui se convertit bientôt en un tissu impénétrable. Cependant, tandis que l'Araignée suce sa proie et ne la laisse que morte, le Champignon donne aux Algues prises dans

son filet une activité plus grande. Il leur fait même prendre un accroissement plus vigoureux ».

Les observations rassemblées et les expériences de contrôle effectuées permettent dorénavant de jeter un coup d'œil synthétique sur le phénomène de la Symbiose, processus naturel relevant en partie du calcul des probabilités, cas statistique central d'un phénomène beaucoup plus général, celui des associations vitales qui, le plus souvent, se manifestent dans le déséquilibre bien affirmé du Parasitisme. De combien d'échecs partiels ou totaux, la rançon de cet heureux épisode dans l'évolution du vivant qu'est une Symbiose, n'est-elle pas constituée? La Symbiose, c'est le gros lot d'une loterie où les numéros perdants se chiffrent par centaines de milliers, si ce n'est pas par centaines de milliards. Elle est harmonieusement nuancée, physiologique, relativement ou totalement durable, alors que le Parasitisme, comme cet autre pôle social qu'est l'Antibiose par rapport à la Symbiose, sont dysharmoniques, souvent brutaux, pathologiques et plus ou moins rapidement périssables.

L'ensemble symbiotique prend apparence d'un individu nouveau, vivant une existence qui n'est ni celle de ses constituants considérés isolément, ni celle que pourrait représenter la somme algébrique des deux vies associées. La réunion a créé novation. Le produit qu'elle a engendré est capable de se développer dans des conditions où, séparés, les deux éléments périraient. Et cette existence, enfin, peut se reproduire par le moyen des Sorédies, petits éléments contenant chacun quelques cellules d'Algue et quelques filaments mycéliens de Champignon. Ce dernier fait, qui est celui d'une symbiose continue et héréditaire, revêt une importance particulièrement significative dès qu'on l'apprécie du point de vue de la Biologie générale, laquelle doit tenir la Sorédie comme une ébauche de l'œuf des êtres composés.

La Symbiose lichénique n'est pas obligatoirement continue. Elle est discontinue lorsque l'équilibre qu'elle représente n'est pas absolument parfait. Alors la reproduction s'effectue au moyen de spores nées dans des asques et qui, après germination sous forme de filaments mycéliens, doivent rechercher une Algue susceptible de contracter mariage avec eux. Nous n'avons pas à insister sur tous ces points, la Symbiose lichénique ayant

été excellemment décrite par F. Moreau, vers le travail de qui nous renverrons ceux qui sont curieux de plus amples détails. Pour nous, nous ne retiendrons que les faits susceptibles de nous aider à dégager le mécanisme intime de la Symbiose, besogne que nous croyons utile, certaines défaillances de la théorie de l'Évolution pouvant être comblées par une prise en considération du fait symbiotique, qui est un fait de Mutation, venant introduire le facteur *discontinuité* là où l'on pensait tout expliquer par une continuité qui n'a pas été confirmée dans l'ensemble des observations.

Un système réciproque. — Nous avons montré précédemment la réciprocité qui se manifeste entre le mouvement circulaire et le mouvement rectiligne alternatif (dispositif bielle-manivelle), celle qui existe entre lignes de force et lignes équipotentielles d'un champ de forces, celle qui règne dans le jeu des dispositifs-tampons ou amortisseurs. C'est une réciprocité du même ordre que l'on rencontre dans une Symbiose parfaitement équilibrée, où les éléments en présence mettent en jeu, non pas des qualités ou des aptitudes réellement antagonistes, mais, plus exactement, *complémentaires*.

Schwendener, on s'en souvient, avait remarqué que l'Algue lichénique, loin de dépérir, manifestait une vitalité accrue. Nylander, de son côté, avait noté que les hyphes des lichens présentaient une fermeté jointe à une élasticité contrastant avec la mollesse des mêmes organes chez les Champignons vivant isolés, observation pertinente qui eût dû le rallier aussitôt aux vues de Schwendener. Une aussi sensible modification ne devait-elle pas, en effet, apparaître comme une caractéristique conséquence des interactions de centres dynamiques et des échanges métaboliques s'accomplissant constamment entre les deux associés, échanges dérivant les circulations normales des substances, ou empruntées, ou restituées au milieu ambiant, et faisant que l'Algue emprunte, en quelque manière, son exubérance de développement au Champignon, tandis que ce dernier tient de l'Algue un certain affinement structural, dont le caractère de solidité acquise par le mycelium n'est qu'un des aspects? Nous avons, en première partie de cet ouvrage, parlé des rôles respectifs de l'accélérateur et du frein, de la translation plus ou moins

ordonnée et de la rotation, stabilisatrice des mobiles sur leurs trajectoires. Nous pouvons maintenant ajouter que le Champignon représente l'accélérateur, l'Algue étant l'appareil de contention.

Schwendener avait considéré le Champignon comme un parasite de l'Algue. Des études ultérieures ont montré qu'il y avait des symbioses tournant surtout au profit du Champignon et des symbioses principalement favorables à l'Algue, selon les conditions de nutrition favorisant l'un ou l'autre des deux associés : le Champignon est le profiteuse dès que le milieu de culture est pauvre en substances quaternaires, et l'Algue devient la profiteuse lorsque, au contraire, la croissance s'opère sur des milieux organiques. Autrement dit, c'est le besoin, ou de l'un, ou de l'autre, qui commande en cette affaire. Cette notion prend grande importance lorsqu'il s'agit d'explicitier les mécanismes de la sexualité, ou ceux de l'appartenance végétale ou animale.

Si nous ajoutons que la stimulation fonctionnelle n'est pas unilatérale, mais bilatérale, chacun des deux associés élargissant son champ particulier de résonance pour l'accorder avec celui de son voisin, tous deux se mettent à l'unisson sur un temps moyen d'oscillation propre, nous voyons que la Biologie se relie ici directement à la Physique.

Voici donc poindre un des grands mécanismes présidant à l'entretien de la vie : le *réglage différentiel*, que nous retrouvons dans l'infinité des dispositifs *tampous* par le moyen desquels tous les organismes vivants, s'ils sont un peu évolués, peuvent, par le jeu d'une certaine réversibilité, subir les mille imprévus des circonstances ambiantes ou intérieures, en amortir les chocs et plier sans se rompre sous les coups de l'adversité. La Symbiose vraie n'est rien d'autre qu'un modèle idéal d'adaptation extemporanée à des circonstances variant autour d'une plus ou moins large moyenne. Dès que l'écart sort de la norme, le fragile appareil se dérègle ou se fausse, et le parasitisme a beau jeu pour s'installer.

En définitive, nous devons regarder aussi bien la Symbiose vraie que l'association « hôte-parasite » comme un couple biologique dont les deux organismes constituants réagissent à tout moment l'un sur l'autre, aussi bien sur le plan morphologique

que sur le physiologique et le pathologique. Ainsi que Noël Bernard en a, le premier, apporté la démonstration, il se manifeste d'abord une action humorale, susceptible d'entraîner des variations dans l'apparition ou dans la polarité de la sexualité, comme dans l'élaboration des substances jouant le rôle de toxines vis-à-vis de l'un ou l'autre des deux associés, et dans celle des anticorps correspondants. Parallèlement à la modification des humeurs circulantes, se produisent des variations morphogénétiques « hormonales ». Tout le problème de l'évolution ontogénétique des individus et phylogénétique des espèces est, en germe, inclus dans ce qui se produit lors de la constitution d'un groupement cellulaire de nature parasitaire ou symbiotique. Mais, ainsi que N. Bernard en avait, dès le principe, fait la remarque judicieuse, le problème de l'immunité rentre aussi dans ce cadre (1) où, finalement, toute la Biologie, toute la Physiologie des êtres supérieurs, toute leur Morphologie, viendront automatiquement se placer dès que seront résolues certaines difficultés encore inhérentes à une question sur laquelle ne se sont pas encore concentrées les études approfondies qu'elle mérite.

L'équilibre humoral des individualités complexes qui, toutes et sans exception, bien au-delà des Lichens ou des Orchidées, sont sous la dépendance des interrelations physo-mucoïdes ou, ce qui revient au même et comme nous l'avons indiqué par ailleurs, d'un certain « Equilibre aéro-anaérobie », cet équilibre humoral comporte des variations physiologiques et pathologiques qui sont manifestes jusque chez l'Homme (2).

Polarité animale et polarité végétale. — Un dernier point, et non le moindre, reste à mettre en valeur : celui relatif aux situations topographiques respectives des deux éléments conjoints. Comme nous l'allons voir, l'architecture histologique qui s'offre à nos regards joue un rôle capital dans les destinées de l'ensemble.

(1) Un jour viendra où l'on s'apercevra que la thérapeutique par les Antibiotiques (Pénicilline, Streptomycine, etc.) ne constitue qu'une des nombreuses applications dont est susceptible une théorie généralisée de la Symbiose.

(2) Nous avons négligé, faute de place, quantité de remarques concernant le phénomène de la Symbiose qui exigeraient à lui seul un volume important pour être convenablement commenté. Signalons toutefois que la Symbiose peut, avec grande utilité, être comparée au point isoélectrique des électrolytes contenant dans leur molécule des groupes acides et des groupes basiques terminaux, ce qui est le cas des protéides, organisés comme des dipôles.

Dans la symbiose lichénique, l'Algue est emprisonnée dans les filaments du Champignon. Autrement dit, elle est en position centrale ou médullaire, alors que le Champignon est en position périphérique ou corticale. Cette structure est absolument nécessaire à l'apparition de la production phénoménale Lichen, les spores de Champignon étant dans l'incapacité de reproduire un nouveau Lichen si, en germant, elles ne parviennent pas à englober les cellules d'une Algue. Ce mode de groupement, *qui est tributaire d'une occasion favorable à sa réalisation*, est aussi, pensons-nous, celui qui constitue la raison déterminante du caractère végétal, non seulement chez les Lichens, mais aussi chez les Plantes plus élevées en organisation. Placé comme il est, le Champignon garde toute faculté de pousser ses filaments radiculaires dans le sol et d'y fixer ainsi la communauté. C'est donc bien lui qui, en cette occasion, règle le destin de la Symbiose. Aussi, les Lichens, doués d'une vigueur de végétation qu'ils doivent à la simplicité de leur organisation, ont-ils prospéré sur toute la surface solide de la Terre, des pôles à l'Equateur, partout où un support convenable s'est offert à eux pour s'y attacher.

Les détails du compromis symbiotique nous confirment dans cette idée que la dominance reste, chez les Lichens, en tout point acquise au Champignon. Certes, ces plantes offrent une diversité qu'elles tiennent des Algues, mais cette diversité est couverte par une monotonie générale de morphologie qui est bien le fait du Champignon. Du point de vue évolutif, les Lichens n'ont trouvé devant eux qu'un avenir « bouché », semblable à celui des Champignons, qualifié autrefois d'*inadaptif* par Saporta. Et si, comme les autres végétaux, il ne se tient pas, d'un individu à l'autre, dans une forme générale et dans une masse aussi strictement délimitées que cela est de règle chez les animaux, nous en devons encore trouver la raison dans la précellence de l'élément mycoïde.

La répartition topographique des éléments conjoints a donc une importance capitale, du point de vue des possibilités évolutives de l'ensemble. L'Algue n'est à sa vraie place et ne peut développer toutes ses qualités naturelles qu'à la condition d'emprisonner le Champignon et non d'être encerclée par lui.

Son aptitude particulière à former des enveloppes, à circonscrire des aires ou des volumes à l'intérieur desquels les éléments mycoïdes se développeront sous une contrainte obligeant leur exubérance constructive de tissus à se dépenser « sur soi » au lieu d'aller se perdre dans un développement spatial exagéré, cette aptitude congénitale des éléments phycoïdes prend son plein développement dans l'organisation animale.

P. Nordin, dans une Thèse consacrée à l'étude du « Mécanisme de la Cicatrisation cutanée », étude faite en fonction des principes qui sont défendus ici-même, P. Nordin a relaté dans son travail une curieuse et très probante expérience faite par Drewy en culture de tissus : « Une expérience de Drewy réalise d'une manière très parfaitement schématique la synthèse de l'association conjonctivo-épithéliale; elle transporte dans la Biologie animale l'expérience par laquelle Bonnier a reconstitué artificiellement la symbiose du Champignon et de l'Algue : deux petits fragments de tissus, l'un conjonctif, l'autre épithélial, sont prélevés séparément et mis en présence l'un de l'autre en culture *in vitro*; après un certain temps, on constate que le conjonctif a poussé radialement, formant une masse sphéroïdale sur la surface de laquelle l'épithélium s'est étendu en un tégument continu, homologue de l'épithélium cicatriciel. L'organisme nouveau ainsi constitué prend une morphologie qui rappelle curieusement les premières phases du développement embryonnaire ».

L'œuf symbiotique. — La Sorédie des Lichens se reproduisant en Symbiose ininterrompue peut, sans que cette assimilation puisse constituer une extrapolation trop hardie, être envisagée comme une ébauche de l'œuf des êtres composés. On peut rencontrer des stades plus avancés chez les Chenilles xylophages de Lépidoptères, comme l'a signalé Pierantoni dans ses recherches sur les symbioses héréditaires.

Portier s'est efforcé de montrer, dans un travail consacré aux Symbiotes, que « tous les animaux depuis l'Amibe jusqu'à l'Homme, toutes les plantes depuis les Cryptogames jusqu'aux Dicotylédones, tous les êtres vivants sont constitués par l'association, l'*emboîtement* de deux êtres différents ». Cette idée a

été très combattue. Nous sommes cependant convaincu qu'elle enferme une grande vérité et qu'une étude attentive des Symbioses s'imposera un jour ou l'autre, si l'on veut sortir de l'impasse dans laquelle se trouve actuellement engagée la théorie de l'Évolution.

Infestation, infection, immunité. — Dans son étude consacrée à la symbiose chez les Orchidées, N. Bernard a montré le mécanisme de l'infestation des racines de la plante par des Champignons filamenteux pelotonnés. Or, de deux choses l'une : les cellules de l'Orchidée résistent victorieusement à l'attaque par les Champignons et, dans ce cas, la germination de leurs graines ne s'accomplit plus; ou l'invasion réussit à établir une sorte de compromis entre les deux éléments adverses, créant un état durable de symbiose et, alors, la germination des graines a lieu. N. Bernard a eu l'idée géniale de comparer ces expériences avec celles de Pasteur : dans le premier cas, la disparition de l'activité du Champignon correspondait à une atténuation de la virulence, et la plante ainsi vaccinée naturellement, parvenait à une véritable immunité. L'aptitude des Rhizoctones à vivre en symbiose avec les Orchidées est variable : elle peut se perdre ou s'exalter et, dans ce combat, il se produit des épisodes tels qu'on est obligé de songer à une *évolution dans la symbiose*. N. Bernard a pensé que les expériences de Pasteur devaient servir à éclairer les théories de Lamarck et de Darwin, le problème capital étant celui de l'adaptation mutuelle d'un micro-organisme et de son hôte, problème intimement lié à celui de l'origine des espèces.

Il était donc dans la pensée intime de N. Bernard de considérer l'apparition d'espèces nouvelles comme le résultat d'infestations *équilibrées* et passées dans l'œuf. Nous ne croyons pas trahir un auteur dont la disparition prématurée nous a privés des conclusions d'une œuvre si remarquablement commencée, lorsque nous nous permettons d'aller au-delà de ce qu'il a écrit. Car il est évident que l'infestation a joué le rôle d'un facteur de stimulation, ayant permis aux Orchidées de parfaire leur cycle vital et provoqué l'apparition de manifestations qui, faute de cette intervention, seraient demeurées en état latent. Il est non moins évident que si la symbiose doit s'effectuer au

cours du développement de l'individu, c'est parce qu'elle n'a pas été réalisée auparavant, c'est-à-dire dans le germe même. Il existe, d'ailleurs une variété, la Néottie, chez qui l'infestation est acquise dès l'œuf.

Nous pouvons alors mesurer la singulière portée du travail de N. Bernard : il est nécessaire à l'œuf, pour qu'il puisse développer les possibilités qu'il enferme en lui et qu'il soit à même d'actualiser son potentiel, qu'il soit fécondé. Cette fécondation est une activation qui, dans la nature, est déclenchée par l'agression venant du spermatozoïde et, en laboratoire, par des moyens assez divers, mais appartenant tous au domaine physique : piqure d'épingle, action de solutions hypertoniques, etc. Or, Bernard a parfaitement réussi à faire germer des Orchidées par le seul recours à des solutions de substances organiques plus concentrées que celles dont il s'est servi communément pour les cultures. Infestation et fécondation se présentent donc comme des phénomènes appartenant biologiquement au même ordre. On en pourrait dire autant de l'infection, dont la symbiose équilibrée n'est qu'un cas particulier, l'invasion microbienne n'étant elle-même qu'une des modalités du parasitisme.

En conclusion, nous en venons à soupçonner que l'échelle progressive des êtres organisés ne s'est pas établie sur le mode de continuité généralement envisagé et qu'on s'applique inlassablement à rechercher. L'élévation organique qui se peut constater des Protozoaires aux grands Mammifères, semble bien plutôt être le résultat de l'alternance de deux processus qui se sont renouvelés en séries d'autant plus poursuivies que le résultat atteint a été plus grandiose : tantôt par des infestations ayant déterminé des mutations brusques et des développements nouveaux, explosivement surgis, tantôt, dans l'intervalle entre deux mutations, par des évolutions lentes, marquées de remaniements successifs, d'adaptations mutuelles de plus en plus fines entre éléments destinés désormais à une constante cohabitation et, enfin, de réarrangements préparatoires à la fixation, dans l'œuf, des facteurs du progrès accompli.

Approximations successives. — P. Portier n'a pas été compris. Au-delà de ses expériences sur le rôle supposé des

Symbiotes dans l'organisation du vivant, il y a une philosophie profonde qui semble avoir échappé à tous ses contradicteurs et qui, pourtant, est bonne à jeter un puissant trait de lumière sur la façon dont a pu procéder la Nature dans sa création continue d'individus, animaux et végétaux, doués de formes et de fonctions de plus en plus complexes.

Les Symbioses sont certainement partout dans la nature. On ne les a pas trouvées parce qu'on ne s'est pas appliqué à les rechercher systématiquement. Et c'est pourquoi nous nous sommes attaché à en faire saisir toute l'importance. C'est la « Loi téléologique du hasard » de Wronsky qui a été celle de la Nature procédant par essais indéfiniment répétés, suivis d'approximations successives, c'est-à-dire par la méthode simpliste de ceux qui veulent forcer le secret d'une serrure de coffre-fort. C'est une œuvre de patience devant laquelle nous nous trouvons et dont nous admirons les résultats. C'est une autre œuvre de patience que d'effectuer, par la pensée, un travail inverse et de démonter pièce à pièce, assemblage par assemblage, les rouages d'une inextricable complexité dont nous n'avons d'abord contemplé que le jeu final et dont le mécanisme ne doit pas résister indéfiniment à la compréhension de l'Homme.

Que la Nature ait été aussi prodigue dans ses essais que tenace dans leur poursuite, nous continuons à en avoir le spectacle sous les yeux : ne voyons-nous pas à tout instant le nombre effroyable des « ratés de fabrication », des « loups » par quoi se manifestent les processus de fécondation ou d'infection, pour ne prendre que cet exemple? Sur des millions ou des milliards d'éléments jetés au jeu, combien est infime la proportion de ceux conduits à une vraie réussite, au regard de ceux qui succombent avant l'heure? A la vérité, on peut tenir chaque être vivant pour une manière de *production phénoménale* et les succès remportés par la Nature sont d'autant moins nombreux que l'évolution a été plus poussée. Le foisonnement de chaque espèce est, ou semble être, en raison inverse de sa complexité organique, c'est-à-dire du nombre d'éléments qu'il a fallu conjoindre et assembler systématiquement pour en former *un tout* qui fût viable.

D'approximation en approximation, l'être parfait se dégage

de son état primitif par une succession de mutations, qui sont autant de métamorphoses, très apparentes encore chez les insectes, et à transitions d'autant plus ménagées, jusqu'à devenir presque insaisissables, à mesure qu'on atteint le niveau de la vie la plus élevée. Ces métamorphoses, qui correspondent à des remaniements profonds de l'individu, marquent aussi des périodes de plus grande fragilité, accumulant de nouvelles victimes sur le chemin du succès.

CHAPITRE XIX

VOIES ET MOYENS DE LA VIE

Unicité des organisations naturelles. — Un fait digne de remarque dans l'organisation progressive de la vie, c'est que la Nature semble ne jamais avoir, dans ses réalisations les plus avancées, complètement oublié ses réalisations passées et renoncé à les utiliser encore. Si bien que la confrontation des formes, des organes et des appareils tout au long de la série qui s'étend des Protozoaires aux Métazoaires, des Protophytes aux Méta-phytes, puis la confrontation des éléments homologues, des Animaux aux Végétaux, constitue une forme d'investigation scientifique d'une valeur irremplaçable. Elle permet la comparaison du potentiel à l'actuel et, dans bien des cas, elle peut en reconstituer la progression, en suivre pas à pas les variations. Besogne relativement aisée lorsque les investigations peuvent se poursuivre dans le domaine de la continuité apparente, mais besogne presque impossible si l'on se heurte aux barrières dressées par une discontinuité. Et notre esprit est ainsi fait que les plus fragiles théories établies sur la continuité des processus vitaux ont toujours trouvé devant elles une audience favorable, alors que celles où il est tenu compte de la discontinuité rencontrent, si ce n'est une hostilité marquée, tout au moins le crible d'une critique acérée, quand elle n'est pas franchement malveillante. Faut-il le déplorer? Assurément non. Ces discussions scientifiques sont de la plus haute utilité, en ce qu'elles nous contraignent à tourner et retourner sur toutes leurs faces les graves problèmes posés par l'étude de la Biologie et, lentement mais sûrement, à en réduire l'énorme complexité apparente.

Disjoindre l'accessoire d'avec le principal, l'ajouté d'avec l'essentiel, tel doit être l'objectif à poursuivre inlassablement. L'intrication d'un très faible nombre de phénomènes de base

conduit toujours, dans ses résultats, à des ensembles qui peuvent sembler inextricables. Débrouiller un tel écheveau est, tout en même temps, affaire de méthode et de tournure d'esprit. Le déchiffrement des dépêches secrètes, comme celui des hiéroglyphes ou des caractères cunéiformes ont été entrepris et réussis. Celui des formes naturelles vivantes, sous les conditions de méthode et de ténacité qui viennent d'être dites, le sera aussi. C'est à l'établissement de fils conducteurs permettant un « dégrossissage » moins pénible des multiples questions posées par l'examen du vivant que nous nous appliquons dans le présent ouvrage. où la passion d'entreprendre a dominé l'espérance de la réussite (1)

Nous sommes partis de cette donnée, peut-être sans fondement absolu, qu'il doit exister une certaine unicité dans les organisations naturelles, et que les moyens par lesquels s'est édifiée la vie, puis sur lesquels elle s'est appuyée pour parvenir à l'état de quasi-perfection que l'on sait, sont sans doute simples et peu nombreux. Nous ne nous arrêterons que devant le fait, qui ne s'est pas encore présenté, mais viendra peut-être un jour nous convaincre de la vanité de nos efforts.

La vie à son point de départ. — Accomplissons un léger retour en arrière. A l'origine de la vie, nous avons supposé : 1° un dispositif matériel multivibrateur; celui-ci n'est pas obligatoirement un microcristal piézo-électrique de silice, mais peut tout aussi bien être une molécule ou un ensemble moléculaire de structure telle, qu'elle réalise un microcondensateur à diélectrique élastique, dont les propriétés vibratoires sont analogues à celles du quartz, sans qu'il soit besoin de supposer une self dans le circuit; 2° une mise en train du dispositif, non pas par l'effet de combinaisons chimiques — lesquelles sont ici un résultat, non une cause première — mais par des agents physiques tels que lumière, effluves électriques, pressions alternatives, etc.; le système que nous venons d'imaginer possède de remarquables aptitudes transformatrices et mutatrices d'énergie, qu'il fait passer d'un mode dans un autre; 3° un milieu ambiant aqueux renfermant en solution des gaz tels que CO₂ ou O, et

1. Sous ce rapport, nous devons mentionner ici les espoirs apportés par le travail des Biochimistes que Florkin a excellemment présenté.

des sels aisément ionisables, carbonatés, azotés, phosphatés, sulfurés, etc. qui se rencontrent tous dans l'eau de mer.

Rien de tout ce que nous venons de postuler n'est rare dans la nature, et il n'est pas outrecuidant de penser que cela a pu suffire pour, dans un premier temps, édifier une synthèse de glucides, déjà réussie en laboratoire et, dans un deuxième temps, une synthèse protéidique, non encore réalisée en laboratoire, faute d'avoir réuni les moyens adéquats, mais qui viendra à son tour et constituera un grand succès de la technique.

Nous sommes fort éloigné, dans cette conception, des suppositions habituelles où l'on considère l'apparition de la vie comme un phénomène n'ayant pu se produire hors de conditions exceptionnelles, extraordinaires, mettant en jeu des énergies formidables et qu'on ne retrouvera plus jamais sur notre globe (1).

Le champ tourbillonnaire engendré par le centre vibratoire met atomes et molécules dans une agitation propice aux combinaisons chimiques associantes et dissociantes, aux polymérisations, aux élections automatiques d'éléments moléculaires dont les uns cheminent sur des trajectoires centripètes, les autres sur des trajectoires centrifuges, selon leur masse et selon leur structure propre. Des amas substantiels se forment et s'accumulent progressivement autour de l'organisateur : une morphologie et un fonctionnement font, de conserve, leur apparition.

Des éléments autonomes semblables ont pu naître en quantités prodigieuses dans certaines régions submergées de notre globe et, peut-être, disparaître comme ils étaient nés, sans avoir eu la possibilité d'évoluer si l'époque favorable au maintien de la vie n'était pas encore installée. Celle-ci venue, ils ne se sont plus bornés à croître et multiplier. Disséminés par la conjoncture de leur foisonnement exubérant et de l'action dispersante des remous incessants manifestés par une Terre en pleine effervescence formatrice, ils se sont répandus un peu partout où les cou-

(1) Nous tenons pour probable que la condition exceptionnelle ayant permis l'éclosion de la vie, a résidé dans une radioactivité *finissante* et ionisante, qui a facilité des échanges biochimiques nécessaires. L'état de radioactivité intensive, qui l'a précédé, était plus destructeur que constructeur, et n'a donc pas pu entretenir l'état de vie. Au contraire, des doses maxima de radioactivité sont excitantes et édifiatrices. Il est légitime de se demander si les Sulfuraires, par exemple, ne sont pas nées dans les profondeurs où subsiste encore cette faible radioactivité.

rants pouvaient les entraîner, en surface, en profondeur, en altitude, mais n'ont guère pu subsister qu'en certaines zones propices à la conservation de leur existence. Les révolutions terrestres en ont fait une consommation effroyable, mais ceux qui sont demeurés ont pu, grâce au parasitisme qu'ils portaient en eux comme une qualité innée et qu'ils pouvaient désormais développer, se diriger vers une autre destinée.

Si bien standardisés que fussent les premiers vivants, on ne peut cependant dire qu'ils étaient vraiment identiques les uns aux autres : les circonstances de leur éclosion avaient varié dans le temps et dans l'espace, les laissant homologues, mais non mathématiquement superposables. Il y a donc eu des inégalités dès le départ de la vie, et ces inégalités n'ont pu faire que s'accroître avec le temps. La marche vers la différenciation avait commencé *in principio*.

Croissance et multiplication. Différenciation. — La croissance est un phénomène continu, mais assez nettement limité selon les espèces, et aussi selon les individus. C'est également un processus d'allure variable et qui peut s'analyser mathématiquement avec une assez grande facilité. Nous ne nous y arrêterons pas. Somme de deux courbes — une logarithmique et une exponentielle dont les asymptotes sont parallèles à l'axe des temps — la loi de croissance indique une stabilisation progressive de la taille ou du format, après passage par un certain nombre de points d'inflexion correspondant aussi à des périodes critiques pour le sujet, périodes qui se peuvent comparer à de véritables métamorphoses.

Le processus de scission de l'individu a été précédemment indiqué comme automatique et correspondant à une manière de régénération, analogue à celle qui s'accomplit pour les tourbillons dont la masse est devenue trop importante eu égard à leur énergie propre. Or, le dynamisme total d'une unité vivante se répartit en deux portions, d'ailleurs inégales, dont l'une s'emploie dans la conservation du système par rapport au milieu ambiant et l'autre s'utilise à l'intérieur même de ce système, en remaniements qui en modifient la structure intime et l'adaptent plus étroitement aux conditions d'ensemble de son existence. Le même but de

perpétuation se poursuit donc sur deux plans différents et avec des aspects suffisamment dissemblables pour que l'homologie foncière des travaux accomplis de part et d'autre n'apparaisse pas aux yeux d'une manière éclatante.

S'il semble se manifester une sorte d'antagonisme entre croissance et différenciation, la raison en est tout simplement dans ce que la même somme d'énergie ne peut s'employer à la fois dans deux directions divergentes. Tout ce qui se dépense pour croissance et multiplication est perdu pour la différenciation, et réciproquement. Il faut opter, et l'option n'est pas le fait du seul individu pris en soi, mais du rapport mutuel établi à chaque instant par sa condition propre et le *status* des circonstances ambiantes. Entre l'une et l'autre s'établit à tout moment un *consensus*, un compromis dont le vivant fait les frais, mais qui l'orienté et le dirige irrésistiblement vers un optimum entre ses dépenses énergétiques consacrées à son emprise sur le milieu externe par voie de multiplication, ou d'étalement dans l'espace, et les dépenses engagées dans sa réorganisation intérieure lui assurant plus longue durée, ou meilleur étalement dans le temps.

Loi de Conjonction-Disjonction. — Chez les êtres qui se manifestent par une prédominance du principe d'extension, l'énergie employée en croissance et division surclasse de fort loin celle utilisée à des améliorations internes. Les individus qui en naissent peuvent se répandre en plusieurs modes différents : les uns restent isolés, d'autres se groupent, soit en masses importantes à formation plus ou moins lâche, soit en masses plus réduites, aux dispositions géométriques (étoilées, spiralées, etc.) prenant allure d'individus composés. Le vivant semble donc obéir en même temps à deux principes opposés, l'un de conjonction et l'autre de disjonction. Ce principe a une portée très générale, et l'on assiste à son entrée en jeu dans des circonstances extrêmement diverses, en particulier dans l'étude des croisements et dans celle de la Tératogénèse.

Chez les êtres qui, au contraire, marquent une prédominance à la centralisation de leur énergie, la croissance et la reproduction sont retardées, au profit de l'organisation interne. Ce repli sur soi-même est facilité par l'apparition d'une membrane, comme

il a déjà été dit. Mais il arrive que l'être ainsi coupé de ses relations extérieures s'empresse de les rétablir dans d'autres voies, et pousse des prolongements radiculaires qui sont de véritables systèmes fonctionnels. Ce sont les cils ou flagelles dont nous parlerons plus loin. Il semble donc qu'il existe une sorte de centre vital, semblable à un centre de gravité et immuable comme lui, faisant multiplier les contacts de l'individu avec l'ambiance dans la proportion même où il s'est appliqué à perfectionner son milieu interne, et à y enfermer son existence.

Nous voyons poindre ici le jeu de cette *Loi d'Harmonicité*, formulée par R. Baion au sujet des proportions morphologiques de l'animal et qui, comme la loi de Conjonction-Disjonction, s'étend bien au-delà du domaine où elle a été appliquée en premier lieu. Nous n'insisterons cependant pas sur ce sujet, les développements auxquels il conduit étant susceptibles de nous entraîner trop en dehors des limites de cet ouvrage. Nous devons toutefois signaler à l'attention de ceux qui sont familiarisés avec la théorie des tourbillons, combien cette dernière peut présenter d'utilité dans l'analyse des phénomènes dont nous nous occupons en ce moment : il est clair que le centre dynamique vital dont il a été parlé et que nous avons considéré comme un centre vibratoire, détermine autour de lui un système de *tourbillons immobiles* que, pour plus de simplicité, nous réduirons à une seule paire; on sait que les lignes de courant déterminent une ovale séparant le milieu extérieur (atmosphère ou autre) et le *corps* du système. Chacune des moitiés de l'ovale possède une polarité (sens de courants inverses, l'un par rapport à l'autre, aux deux extrémités du grand axe). A l'intérieur, les lignes de courant sont représentées par des lignes fermées, circulaires autour des centres de force et qui semblent se mouler de plus en plus étroitement sur l'ovale limitante, au fur et à mesure qu'elles s'en rapprochent. *La figure formée est absolument identique à celle de la division cellulaire directe.* Nous profitons de cette occasion pour affirmer que ce n'est pas par une simple vue de l'esprit que nous avons formulé l'hypothèse qui fait le fond de nos explications. Les occasions sont si nombreuses, en Morphophysiologie comme en Histologie, où les processus tourbillonnaires se révèlent d'une manière pour ainsi dire flagrante, que nous avons préféré asseoir

l'ensemble de nos considérations sur une homologie présentant l'avantage de ne point forcer les faits et les fait rentrer dans le cadre de connaissances acquises par ailleurs, nous avons préféré cette méthode de travail à celle des suppositions entachées d'une

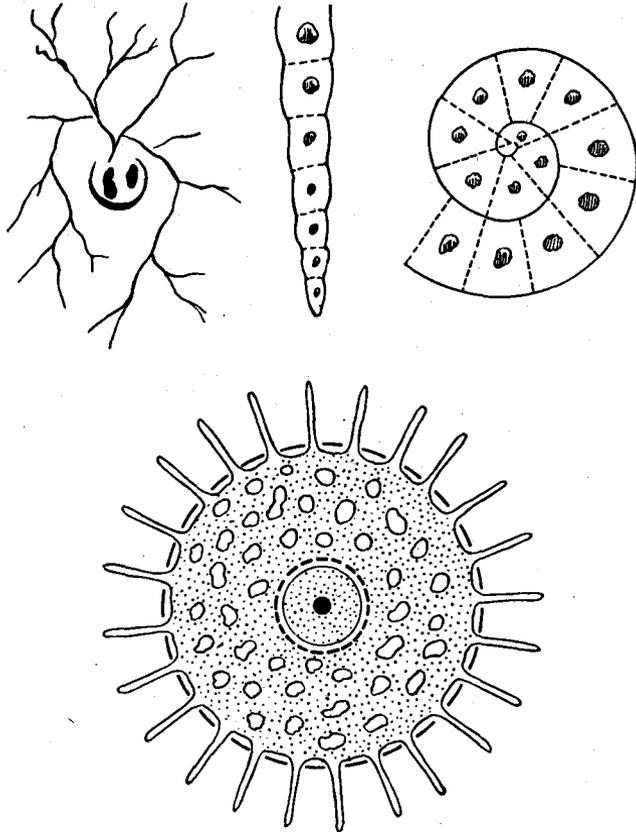


FIG. 59 à 62. — Le Développement chez les Protozoaires. En haut, à gauche : Division d'une Gromie. Au milieu : Développement colonial rectiligne des Foraminifères. A droite : Développement colonial spiralé de Rotaline. En bas : Organisation d'une Radiolaire monocyttaire. (Schémas d'après L. Roule.)

certaine fantaisie, accumulant les hypothèses les unes sur les autres, au lieu de s'en tenir à une seule et unique, servant de base de départ.

Subordination des parties au « Tout ». — Lorsque les Etres passent de la vie unicellulaire à la vie pluricellulaire, toutes les cellules qui composent le nouvel individu, sauf apparemment les cellules germinales destinées à propager la lignée, obéissent à une Loi de Subordination, en vertu de laquelle elles se spécifient d'une manière de plus en plus accusée pour se mettre au service de l'ensemble, en abandonnant, de la sorte, une fraction plus ou moins importante de leur service propre. Les cellules du *soma*, ainsi dérivées des cellules du *germen*, perdent progressivement les qualités inhérentes à ces dernières : actualisant une part de plus en plus forte du potentiel des cellules germinatives, elles s'engagent dans une morphologie et un fonctionnement physiologique qui les fixe dans la voie de la spécialisation, dont le corollaire est la division du travail et sa répartition entre éléments petit à petit entraînés vers une utilisation particulière et définie. Là où, précédemment on pouvait reconnaître des territoires cytoplasmiques astreints à des travaux assez aisés à délimiter d'une manière relativement claire, ce sont maintenant des groupes cellulaires qui accomplissent des besognes similaires, mais avec des moyens mieux adaptés aux fins poursuivies. Ainsi, au lieu d'un évidement tubulaire comportant une sorte d'entonnoir, oral et anal à la fois, se découpant au sein de la masse protoplasmique d'un Protozoaire, apparaîtra par la suite un vrai tractus digestif à revêtement muqueux et phycôide, canal ouvert à ses deux extrémités et permettant un sens unidirectionnel de circulation aux substances absorbées, remaniées, puis rejetées après conservation de ce qui en était assimilable.

Des discussions nombreuses se sont établies autour des problèmes que pose la spécificité cellulaire. Elles peuvent se schématiser en peu de mots : la spécification est le résultat d'un développement coordonné, au cours duquel, dans une première phase, le pouvoir de sélection appartenant en propre au centre dynamique et s'exerçant sur son environnement cytoplasmique engage ce dernier dans une répartition matérielle divisant l'activité tourbillonnaire à laquelle il est soumis, de telle sorte qu'en naissent figures et fonctions *territorialisées*. En d'autres termes, au chaos initial succède, avec le temps, sous l'incitation constante du centre organisateur, une ordonnance nouvelle, traduisant une

adaptation progressive à l'ensemble des circonstances qui constituent la vie du système. Dans une seconde phase, qui s'établit sur un principe identique, des centres dynamiques se subordonnent à l'un d'entre eux; de même qu'était apparue une hiérarchie dans les territoires cytoplasmiques, de même se manifeste une hiérarchie cellulaire, les unes conservant l'entier de leur potentiel et restant des centres directeurs, les autres réalisant une partie de leur capital énergétique, actualisant en formes et fonctions leur énergie originelle, et se mettant au service du centre directeur. Plus cette hiérarchie se complique, plus les degrés sur lesquels elle s'établit croissent en nombre et en importance, plus aussi l'individu s'élève dans l'échelle de l'organisation des vivants, mais davantage, en même temps, il se fragilise quant à ses chances de perpétuation. Quoi qu'il en soit, le principe reste immuable : l'apparition du soma est un épiphénomène lié à l'activité du germe, comme le cytoplasma est un épiphénomène lié à l'activité du noyau cellulaire et comme le noyau est lié à l'activité de son dispositif multivibrateur. C'est un problème de *forces centrales* et tous les résultats constatés s'y ordonnent comme dans un système solaire avec ses satellites.

La spécificité cellulaire est une qualité acquise, passant d'une réversibilité primitive à une irréversibilité qui va toujours en se manifestant davantage au fur et à mesure que la spécification se fait plus étroite, que l'adaptation à un emploi déterminé se fait plus serrée. Le développement de la vie ne s'accomplit que dans un sens, toujours le même et l'évolution dite *régressive* n'est pas le moins du monde la marque d'un impossible retour en arrière, vers un état embryonnaire; elle n'est qu'une nouvelle étape de l'adaptation de l'être aux circonstances.

Réglages différentiels. — Dans le précédent chapitre il a été dit quelques mots concernant les essais successifs entrepris par la nature. En apparence, cette dernière s'en va vers ses buts en procédant par approximations resserrantes, tout comme si elle cherchait à encadrer de plus en plus étroitement ses objectifs. Il n'est que de regarder comment, au vrai, les choses se passent, pour voir qu'une telle interprétation est pure illusion, née de ce que nous ne parvenons pas toujours à nous dégager d'un certain anthropocentrisme, qui règne dans notre esprit,

mais non dans les faits. Il faut bien se pénétrer de ceci, que *les phénomènes naturels n'ont, en soi, d'autre signification que celle que nous leur accordons*. On ne peut prêter un sens directionnel à un processus que sous condition de le définir par rapport à un repère fixe, ou à un observateur déterminé. Le mouvement des aiguilles d'une montre est dextrosum pour celui qui regarde le cadran en position habituelle, mais il est sinistrosum pour celui qui se place en direction diamétralement opposée, c'est-à-dire qui regarde le cadran à l'envers. Considéré, non plus de face, mais de profil, ce même mouvement n'est pas circulaire, mais rectiligne alternatif... En conclusion, le mouvement dont nous parlons est ce qu'il est, mais il présente des aspects changeants, selon la position prise par l'observateur.

La suite des phénomènes naturels donne lieu à ce que, nous autres témoins, nous appelons ou des catastrophes, ou des réussites. Les premières sont infiniment plus nombreuses que les secondes et, fort heureusement, pour nous vivants, elles sont généralement sans lendemain. Biologiquement parlant, les réussites se comptent : elles sont la sommation de tout ce qui est demeuré viable. Les monstres ne sont pas viables; les viables ne le sont que provisoirement, chacun dans sa catégorie — règne, embranchement, classe, ordre, espèce, individu — et leur développement suit la loi exponentielle bien connue, avec cette seule différence que le retour au néant, théoriquement asymptotique, se produit, ainsi que Buffon l'avait déjà remarqué, dans un temps à peu près cinq à six fois plus long que celui séparant la naissance du développement maximum.

La Symbiose est, à notre sens, le fait capital dans l'évolution des êtres organisés, car elle a fait dériver celle-ci du cadre relativement étroit dans lequel elle paraissait destinée à se tenir. Par le jeu mutuel de tendances, ou adverses, ou complémentaires, elle a introduit un facteur nouveau, propre au comportement de l'être hétérogène qui en est le résultat. Ce facteur nouveau, c'est le système « accélérateur-frein » qui, seul, permet un réglage précis, par actions différentielles et introduction de tampons, de tous les phénomènes conditionnant la vie de l'être composite. Ces dispositifs sont partout chez l'animal supérieur, et il n'est pas une seule de ses relations avec le milieu externe

qui ne soit soumise à l'un d'eux, augmentant dans de larges proportions la tolérance de fonctionnement de tous les organes et permettant des rétablissements d'équilibre refusés aux êtres plus frustes.

Récupération des déchets. — Le vivant a recherché dans une autre voie encore une augmentation de ses chances de durer : nous voulons parler de l'utilisation de ses déchets de fonctionnement (1).

Quel que soit le métabolisme cellulaire considéré, celui-ci se traduit toujours par une élaboration de produits divers, à caractère plus ou moins spécifique. De ces matériaux, les uns sont lancés dans la circulation générale en vue d'une utilisation à peu près immédiate, à moins qu'ils ne soient mis en réserve pour une utilisation ultérieure, soit dans l'ordre constructif, soit dans l'ordre dynamique; les autres sont éliminés, et constituent des élaborations ou des excréations.

Nous devons faire ici une remarque qui n'est pas sans importance : tout comme les machines industrielles, les dispositifs vivants sont freinés, puis arrêtés dans leur fonctionnement, par l'accumulation de leurs déchets. Cet encrassement, cette véritable intoxication du dispositif mis en œuvre, c'est la manifestation même de l'état que nous avons dénommé *fatigue*, et qui peut tout aussi bien atteindre un simple groupe moléculaire qu'une entité vivante. Nous en avons donné, dans d'autres publications, une théorie générale; nous ne nous y arrêtons donc pas ici, sauf pour donner quelques explications essentielles.

Le feu d'un foyer est fatigué lorsque l'amas de cendres qui le recouvre empêche l'air de venir entretenir la combustion; un couple hydro-électrique quelconque est fatigué lorsque l'hydrogène réuni en bulles sur l'électrode positive forme une gaine isolante qui interrompt la circulation intérieure du courant électrique; c'est le phénomène bien connu sous le nom de *polarisation*. Nous pourrions citer une infinité d'autres exemples. Tous se résument : une réaction chimique, libératrice d'énergie ou de

(1) Il serait plus exact de dire que le vivant n'a rien recherché, mais que le jeu automatique de son mécanisme directeur, combiné aux circonstances ambiantes, l'a doté de possibilités accrues.

produits secondaires, étant donnée et agissant dans un premier temps d'un cycle de travail, se trouve progressivement ralentie, puis bloquée, parce que, pour une raison ou pour une autre, les produits de la réaction ne sont pas éliminés au fur et à mesure de leur élaboration; ceci se manifeste dans un second temps du cycle de travail; et ce retour au *statu quo ante* se produit le plus souvent en un temps sensiblement plus long que celui de la première phase du cycle de travail. Chez le vivant, ces produits de polarisation vont des simples déchets jusqu'aux véritables *toxines*.

Le balayage des produits de polarisation peut être assuré par une simple disposition physique ou mécanique; mais leur élimination peut également être assurée par des moyens chimiques, en particulier par brûlage, combustion ou incinération : dans les couples hydro-électriques, on dépolarise par l'oxygène naissant, provenant du bioxyde de manganèse, ou par l'oxygène catalysé, au moyen de la suie ou du goudron. De même, la dépolarisation chez l'animal, se trouve assurée par l'oxyhémoglobine, et nous avons montré autrefois le parallélisme étroit existant entre le fonctionnement de la pile de Leclanché et les oxydations tissulaires, ainsi que l'analogie entre les montages des dispositifs électrodynamogènes chez l'individu et ceux de la télégraphie ordinaire, où le retour du courant s'effectue par mise d'un pôle à la terre. Mais passons.

Ce n'est pas seulement dans une stricte économie de ses matériaux à destination énergétique, que le vivant prolonge sa durée; c'est aussi, et surtout, dans une récupération presque intégrale et dans une utilisation judicieuse de ses déchets. Et l'on pourrait, absolument comme pour les industries les mieux organisées, dresser le tableau de la progression évolutive de l'animal par le seul inventaire des récupérations auxquelles il procède fonctionnellement. Sous ce rapport, les grands mammifères, au nombre desquels se trouve l'homme, occupent incontestablement les échelons supérieurs d'une telle classification.

Contentons-nous d'un ou deux exemples typiques, choisis parmi la masse de ceux que nous pourrions mettre en avant. Il existe des vertébrés et des invertébrés, ceux-là placés au-dessus de ceux-ci; la différence essentielle existant entre ces deux grands

embranchements de la zoologie n'est point celle qu'on met généralement en valeur, et qui ne comporte en elle-même aucune valeur explicative, mais elle réside dans le fait que les vertébrés utilisent, dans un but de conservation morphologique, une excrétion calcique que les invertébrés n'utilisent pas. L'élaboration de la substance phospho-calcique constituant la matière osseuse donne elle-même lieu, dans la moelle, à la production d'éléments spéciaux constituant un excretum lié à la formation de l'os et repris par l'organisme pour la genèse des globules sanguins.

Autre exemple : les animaux se distinguent en animaux à sang froid (poïkilothermes) et animaux à sang chaud (homéothermes) qui, comme l'indiquent les appellations mises entre parenthèses sont plus exactement des êtres à température variable et suivant celle du milieu où ils évoluent, dans le premier cas, et des êtres à température constante, dans le second cas. Là encore, nous trouvons l'explication, jamais donnée, de cette différence, dans le fait que le fonctionnement énergétique animal est producteur d'une certaine quantité de chaleur, non utilisée par les premiers et considérée comme un simple excretum rejeté au dehors, et conservé dans sa plus grande partie par les seconds qui s'en servent pour améliorer leur rendement, se mettre dans la mesure du possible à l'abri des variations diurnes ou saisonnières de température et, par là, vivre plus intensément que leurs collègues hibernants. Et ce que nous est, une fois de plus, l'occasion de remarquer qu'on ne saurait gagner sur tous les tableaux à la fois : la vie oscillante des grands organismes poïkilothermes permet à certains d'entre eux d'atteindre à une longévité plus que décuplée par rapport à celle des homéothermes les plus délibérément macrobites!

CHAPITRE XX

FONCTIONS ET APPAREILS DE LA VIE

Forme et Fonction. — Pour l'Anatomiste et l'Histologiste, l'activité de la vie se traduit en formes et en structures. Pour le Physiologiste, elle s'exprime en appareils et en fonctions. Si indifférent d'esprit, si neutre de jugement, si scientifiquement impartial que l'on veuille se rendre lorsqu'on cherche à pénétrer les secrets de la nature, on ne peut complètement se défendre d'une certaine inquiétude admirative au spectacle des réalisations auxquelles est parvenu le vivant. Quoiqu'on en ait, on ne peut admettre que le hasard ait été le grand maître de l'œuvre de vie. Avec L. Cuénot nous nous sommes rangé du côté de l'*anti-hasard*, avec Spemann, les Brachet et A. Dalcq, nous avons adopté le principe des *organisateurs*, nous efforçant seulement de montrer que, si ces organisateurs peuvent se manifester sous des apparences chimiques, leur pouvoir s'établit sur le plan purement physique. Remontant des figures apparues aux causes capables de les engendrer, nous avons supposé, dans une extrapolation que nous ne pensons pas trop hardie, que le principe d'organisation était de nature vibratoire. Nous voici maintenant contraints de pousser un peu plus loin notre systématisation.

La quasi-perfection que l'on rencontre, chez le vivant, dans l'accommodation des formes et des structures aux appareils et aux fonctions, cette perfection qui fait de la Nature le plus inventif et le plus prodigieux Ingénieur qui soit, soulève un problème maintes fois posé, mais demeurant toujours en suspens. Il ne s'agit rien moins que de se faire une idée bonne, pour un temps, à mettre l'esprit en repos, par une acceptable explication du mécanisme constructeur des systèmes physiologiques du vivant. S'attacher d'emblée à vouloir démêler le cas de la constitution de l'œil, par exemple — Helmholtz a dit qu'il en avait le vertige,

rien que d'y penser! — ce serait vouloir, par trop, jouer avec la difficulté. Nous examinerons donc un cas beaucoup plus simple.

Automatisme d'édification. — Il est impossible de penser à un dispositif vibratoire sans, du même coup, invoquer son complément obligé : l'*antenne*, réceptrice ou émettrice, collectant ou dispersant les ondes, de quelque nature qu'elles soient. Imaginons un tube semblable au tube à limaille de Branly, mais renfermant des particules infiniment plus fines que la matière un peu grossière du *cohéreur*, et assez divisées pour que l'effet de la pesanteur sur chacune de ces particules soit, autant dire, négli-

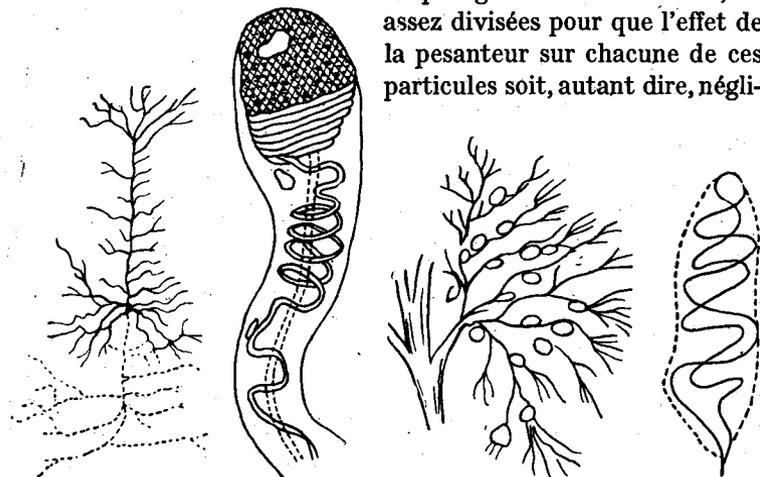


Fig. 63 à 67. — Exemples d'organisation histologique. *En haut, à gauche* : Cellule pyramidale du cortex cérébral de l'homme (d'après Ramon y Cajal). — *Au milieu* : Cellule nerveuse sympathique de grenouille (d'après Kay et Retzius). — *À droite* : Artériole de la rate du chien. — *En bas, à gauche* : Filet nerveux d'un corpuscule de Meissner, dans une pupille du tact (homme) (d'après Pouchet et Tourneux). — *À droite* : Corpuscule de Pacini du mésentère du chat (d'après Tourneux). — Dans ces différentes dispositions, il est aisé de reconnaître des structures établies dans des champs de force, selon les principes énoncés dans ce volume.

geable. Imaginons également que la quantité de particules introduites dans le tube soit assez minime pour que celles-ci, répandues en impalpable poussière dans l'appareil, y puissent jouir d'une

grande liberté de mouvements. Plaçons le tube dans un champ ondulatoire, l'axe du cylindre étant parallèle à la direction du déplacement des ondes. Que va-t-il se passer? Tout simplement, ce phénomène, précédemment expliqué : les particules vont s'animer, si l'énergie ondulatoire est suffisante par rapport à l'inertie propre de chacune des particules engagées dans son champ d'action, de mouvements tourbillonnaires entretenus, donnant à leur trajectoire un aspect de stabilité dynamique, équivalent à une forme de repos et faisant de cette forme matérialisée un collecteur d'ondes, une véritable antenne, merveilleusement adaptée à sa fonction par l'architecture même qui lui a été imposée par le champ d'action. Ne peut-on pas dire qu'elle s'est construite automatiquement et que c'est cet automatisme d'édification qui constitue le facteur efficient de la remarquable congruence entre l'effet à accomplir et le moyen qui s'y emploie?

Traduite en langage biologique, l'expérience précédente s'exprime de la sorte : *C'est l'irritation, l'excitation physiologique qui possède le pouvoir constructif et qui, en l'exerçant sur des éléments figurés ou sur des formations anatomiques, édifie la structure, l'organe ou l'appareil capables de l'enregistrer d'abord, de lui répondre ensuite.* C'est donc elle qui est la véritable déterminatrice de ces fonctions par quoi on a souvent tenté de caractériser le vivant.

Il n'est donc pas juste de dire : La fonction crée l'organe. Il semble plus exact de penser que c'est l'excitation, d'origine exogène ou d'origine endogène, qui, par interaction modelante, détermine une orientation de structure, donc une morphologie spéciale, propre à l'accomplissement optimum d'une fonction physiologique.

Cette proposition constitue-t-elle une « simple vue de l'esprit »? Assurément non. Ne sait-on pas que, pour prendre ce seul exemple, la texture de l'os est, durant un certain temps, en continu remaniement, en fonction des efforts qui lui sont demandés, de telle sorte que les lamelles des épiphyses arrivent à se disposer selon les lignes de pression? L'automatisme du processus est, ici une évidence; un charpentier calculant le tracé d'un assemblage de poutrelles ou d'un treillis métallique, ne saurait

faire mieux, et comme économie de matériaux, et comme meilleure résistance aux travaux imposés.

Classement des fonctions. — Les Physiologistes reconnaissent des fonctions de Nutrition, de Sensibilité, de Motricité, de Reproduction, etc. Pour rester conséquent avec nous-même, nous devons adopter une autre manière de voir et baser notre classification des manifestations du vivant sur

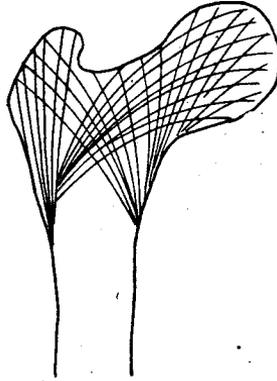
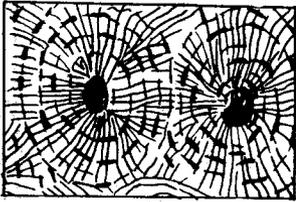


Fig. 68 et 69. — Organisation osseuse. *A gauche* : Caneaux de Havers dans la diaphyse d'un os long. On voit les capillaires centraux constituant chacun un centre de force d'où partent, sur les lignes de force, les canalicules pendant que les rangées concentriques d'ostéoblastes s'établissent sur des lignes équipotentielles. *A droite* : Alignement des travées osseuses sur les lignes de pression d'une tête de fémur.

le sens et sur le mode d'énergie qu'elles mettent en cause. Revenant à une division autrefois chère aux zootechniciens, nous reconnaitrons d'abord, par rapport à l'individu, des *ingesta* et des *excreta*, c'est-à-dire des énergies ou des substances ingérées et centripètes, d'une part, et des énergies ou des substances rejetées ou centrifuges, d'autre part. Ainsi l'importation organique et son exportation, la réception et l'émission sont nettement séparées, indiquent des gains ou des pertes d'énergie, permettent l'établissement d'un bilan et conduisent à la connaissance de divers rendements, selon que l'on considère la part d'énergie employée dans la croissance et l'entretien du soma, celle employée en manifestations extérieures de toutes sortes, selon qu'on considère aussi, pour les comparer, les diverses étapes de la vie d'un individu.

En élargissant le domaine réservé aux ingesta, on y peut étudier successivement les absorptions dites nutritives, qui valent non seulement par la qualité et la quantité des matériaux qu'elles fournissent à l'organisme, mais aussi par les possibilités énergétiques directes qu'elles comportent, puis les intériorisations énergétiques pures : lumineuses, caloriques, sonores, vibratoires, etc. Le domaine des excreta peut être amplifié de la même manière. en y faisant entrer, à côté des matières éliminées par diverses voies, les énergies dépensées sous des formes variées, telles que thermogénèse, photogénèse, électrogénèse, émissions sonores, emploi de force mécanique, locomotion, etc. Les phénomènes étant étudiés sous cet aspect systématisé, on en peut tirer d'instructifs parallèles et, par ce que nous connaissons des uns, faire progresser notre compréhension des autres.

Une telle matière est trop vaste pour trouver sa place ici. Elle mettrait en valeur les incessantes mutations des diverses modalités énergétiques s'accomplissant dans le milieu interne du vivant; elle ferait apparaître l'équilibre qui doit se maintenir, dans des limites assez strictes, entre intériorisations et extériorisations; elle montrerait le *pourquoi* du vieil adage biologique, en vertu duquel « toute sensation conduit au mouvement »; elle expliquerait par quels motifs l'organisme n'est apte à saisir que les seules variations du milieu ambiant, l'uniformité étant pour lui un néant, faute d'y pouvoir exercer des comparaisons qui, seules, sont affectantes; elle valoriserait quantité de nos connaissances qui demeurent dans un demi-sommeil, inutilisables parce qu'encore impossibles à intégrer en bonne place dans notre savoir général; elle pourrait... Mais est-il opportun d'insister davantage?

Nutrition. Appareil digestif. — Du Protozoaire à l'Homme, l'appareil qui, en apparence, a le moins évolué, c'est celui où s'accomplit la digestion. Certes, les formes et les fonctions s'en sont précisées, les organes sont devenus distincts les uns des autres, leurs rôles respectifs se sont concentrés sur des besoins mieux définies, accomplies avec une plus grande puissance de moyens et dans une remarquable alternance des attaques chimiques se produisant tour à tour en milieu alcalin et en milieu acide. On s'imagine peut-être avoir tout étudié et avoir tout dit

sur les processus de la digestion. Et cependant, combien d'idées erronées règnent encore sur cette partie de la Physiologie. Ce n'est pas sans un certain étonnement, par exemple, qu'on a pu lire sous la plume d'un Biologiste généralement mieux avisé : « Le gros intestin n'a pas de fonctions bien définies, et il est probable que notre corps, vieil héritage de très anciens Mammifères, se serait fort bien arrangé d'une structure moins prodigue en boyaux moins malodorants. » Puis, après avoir expliqué que le côlon est peuplé de microbes vivant et prospérant sur les restes de notre digestion, il s'exclame : « Le plus curieux est qu'à la naissance, l'intestin du nouveau-né est libre de cette infestation qui le colonise il est vrai rapidement. » Il termine par quelques mots sur les méfaits du colibacille, hôte constant du gros intestin. Et voilà, en une cinquantaine de lignes, réglé le sort d'un appareil dont la Physiologie de demain sera contrainte à chanter le los sur tous les tons, en raison de son haut degré d'utilité dans le maintien de notre équilibre vital. Car le côlon n'est rien d'autre que le magnifique *laboratoire de l'immunité* et le grand protecteur de l'organisme contre certaines carences le dérivant du physiologique vers le pathologique. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les anatomies comparées de l'intestin grêle et du côlon, pour comprendre que le premier, avec son riche réseau de chylifères, entraîne vers la « circulation porte » le maximum de ce qui peut être puisé de substances nutritives dans nos aliments dont la digestion est terminée, alors que le second doit être affecté à un tout autre rôle, qui n'est pas celui d'achever cette digestion; ce qui reste de digestible dans le contenu du côlon, ne peut plus servir à notre profit *direct*, puisqu'il est à la disposition des milliards d'éléments figurés qui l'utilisent pour leur profit personnel. Le côlon, dont les relations avec le réseau veineux sont extrêmement réduites, au regard de ce qu'elles sont dans le grêle et de ce qu'elles devraient être dans la conception classique, est un appareil spécial, un diverticulum curieusement greffé sur la portion terminale du grêle, et qui, en bonne logique, ne devrait pas être compté au nombre des organes participant au système digestif. Sa besogne est malodorante, soit! mais elle l'est comme celle de la plupart des usines chimiques. Au vrai, c'est un laboratoire de Biochimie, où la flore intestinale élabore des Vitamines qui nous sont indispensables, parce que nous sommes incapables, par

nous-mêmes, d'en réaliser la synthèse (par exemple, le *L. acidophilus* nous ravitaille en Vitamine B₂) et où cette même flore élabore des toxines qui nous obligent à préparer des antitoxines, et des antigènes amorçant la formation d'anticorps. L'intestin du nouveau-né est aseptique, mais tant que dure cette période, l'enfant est fragile; son organisme ne s'aguerrit qu'à partir du moment où le côlon est convenablement infesté et des expériences récentes ont mis en évidence le dépérissement rapide des animaux soumis à un régime strictement aseptique et maintenus en permanence dans un milieu également aseptique. Le procès du côlon est un procès qui appelle sa révision.

Respiration. — Au temps, qui n'est pas très loin de nous, où l'Énergétique animale prenait son appui sur la Thermodynamique, l'Oxygène était considéré comme l'agent des oxydations productrices de ces combustions à quoi, pensait-on, le vivant était redevable de son dynamisme. Nous avons combattu longtemps, sans aucun succès, pour tenter de rectifier cette conception fautive et nous avons essayé de montrer que l'Oxygène était, en réalité, dans un organisme, un *dépolarisant*, un anti-Hydrogène, tout comme il remplit ce rôle dans une pile Leclanché. Nous avons aujourd'hui la satisfaction de constater que les Biochimistes, par des voies entièrement différentes de celles que nous avons suivies, sont arrivés au même point de vue.

Tous les êtres placés au-dessus du stade symbiotique constituent un assemblage d'éléments aérobies et d'éléments anaérobies. Les premiers ont besoin, pour l'entretien de leurs métabolismes, d'un large approvisionnement oxydatif, qu'ils empruntent directement à l'air atmosphérique; les seconds se suffisent avec les faibles quantités d'Oxygène qui leur viennent de dissociations chimiques accomplies dans leur cytoplasme. L'équilibre aéro/anaérobie dont nous avons précédemment parlé est lié au fait même de la symbiose organique régnant sur notre constitution. La rupture de cet équilibre se traduit par une déviation de la symbiose, c'est-à-dire de l'heureuse harmonie établie entre éléments adverses. Une telle considération peut être appelée à tenir une place importante en Pathologie, mais ce n'est pas le lieu d'en parler ici.

Homologie entre sensation et nutrition. — Ne visant point à un exposé complet et logiquement ordonné des faits de la Biologie, mais bornant notre ambition à présenter quelques grandes lois que nous pensons avoir dégagées de l'examen des processus vitaux, nous ne pouvons maintenant que passer une rapide, très rapide revue de certains points particuliers sur lesquels nous voulons nous exprimer autrement que ne le font les enseignements classiques. Ainsi pensons-nous faciliter la lecture des Traités à ceux qui désirent augmenter la somme de leurs connaissances touchant les phénomènes de la vie. Nous espérons, en même temps, les conduire vers des réflexions bonnes à les entraîner en des révisions qui s'imposent dès qu'on est pris par le désir de mieux comprendre ce qui se déroule sous nos yeux.

Non seulement, comme nous nous sommes appliqué à le montrer, la Cellule vivante est sous la domination d'un régime vibratoire, par lequel elle s'entretient et se développe, mais il en est

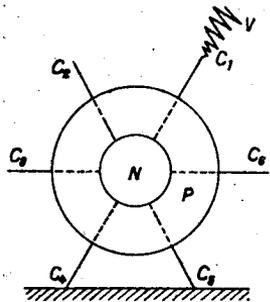


FIG. 70. — Schéma d'organisation unicellulaire ciliée. Soit une cellule à noyau N et cytoplasme P, pourvue d'un certain nombre de cils ou de flagelles C_1, C_2, C_3 , etc. Une vibration V venant de l'extérieur (lumière, son, chaleur, électricité ou autre) se transmet au noyau par l'intermédiaire du cil C_1 : Que les vibrations soient d'ordre mécanique (expérience de Volpicelli), d'ordre tourbillonnaire, jusqu'aux rayons γ (exp. D. Berthelot), le corps cellulaire se charge en électricité, les charges + gagnent les centres plus conducteurs et les charges - s'accumulent sur les enveloppes isolantes. La

cellule émet donc des électrons, comme dans l'effet photo-électrique, qui constitue un cas particulier de ce phénomène très général. Cette intériorisation de charges est une nutrition ou une sensation. Les excédents de charges, après assimilation nécessaire à entretien et croissance du corps cellulaire, assurent les diverses activités de l'élément. Ils peuvent être restitués à l'ambiance, soit immédiatement soit, en émission différée, ou encore transformés en chaleur, lumière, son, mouvement. Les cils peuvent se spécialiser chacun dans un mode particulier d'émission. Le couplage des cils C_4 et C_5 au contact d'une surface résistante donne, par ses vibrations, mouvement et locomotion.

exactement de même en ce qui concerne les individus. Prenez un être quelconque : toutes ses sensations, qu'elles soient d'ordre visuel, d'ordre olfactif, tactile, gustatif ou auditif, ne sont rien

d'autre qu'un enregistrement de vibrations en provenance de l'extérieur. Elles ne sont qu'une incorporation ou une intériorisation de quanta d'énergie. Un tel point de vue est hautement confirmé par l'examen histologique des appareils sensitifs qui, tous, sont visiblement des antennes ou des résonateurs.

Mais si l'on quitte cette vie sensitive et si l'on examine la vie végétative du même être, on pense se trouver, avec la nutrition et l'assimilation, devant une série de processus fort différents des premiers. Cependant, si l'on pousse plus avant l'analyse, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'ici encore, il ne s'agit d'autre chose que d'une incorporation de quanta d'énergie et, en fin de compte, d'une intériorisation de mouvements : tous ces corps accumulés, toutes ces substances mises en réserve dans l'organisme valent peut-être comme matériaux constructifs, mais valent aussi par l'énergie qu'ils sont capables de libérer pour être employée dans des réparations tissulaires ou dans des extériorisations dynamiques, c'est-à-dire dans tout ce qui appartient à l'activité propre de l'individu. Et nous arrivons ainsi à rejoindre les théories modernes sur la constitution de la matière.

Universalité de l'appareil cilié. — Le prolongement cellulaire cilié peut être par les possibilités potentielles qu'il comporte et par les aspects infiniment divers qu'il peut actualiser, tenu pour le plus grandiose des appareils de la vie autonome. Il a fait son apparition dès les premiers pas de l'existence et on le rencontre déjà chez les Algues monocellulaires, sous la forme du flagelle des spores, et chez certains types de Bactéries. Nous avons déjà indiqué qu'il ne fallait pas considérer le cil comme un appareil statique, mais bien comme un appareil dynamique, tour à tour récepteur et émetteur, résultant d'une matérialisation s'opérant sur les lignes de forces du champ d'action d'un organisateur.

Le flagelle est l'ancêtre, le prototype, non seulement de l'appareil nerveux mais aussi de l'appareil locomoteur et même, ajoutons-nous, de certains phanères tels que l'appareil pileux. C'est dire qu'il possède la faculté de se diversifier d'une manière étonnante au cours de son évolution.

Un regard, même hâtif, jeté sur l'organisation d'un de ces

Flagellés verts en qui de nombreux Biologistes veulent voir la souche commune des Animaux et des Végétaux, est très évocateur des moyens mis en œuvre par la vie, au stade de ses premiers tâtonnements. Traversant la membrane de l'individu, le système flagellaire s'insère sur un *blépharoplaste* qui est, à n'en pas douter, une sorte de noyau auxiliaire ou de formation centrosomique et qui, d'ailleurs est relié par un mince filament au véritable

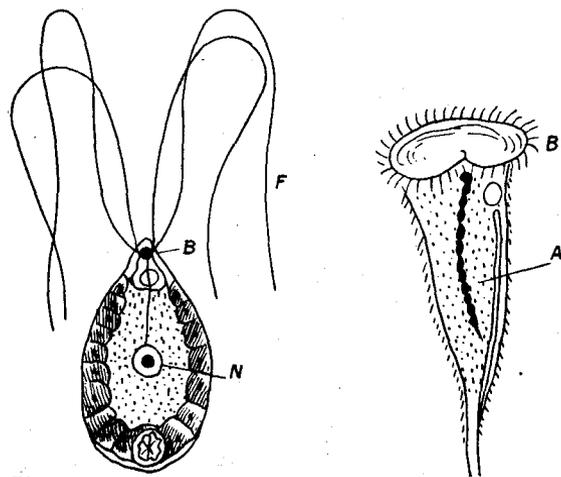


FIG. 71 et 72. — Organisation de Protozoaires. *A gauche* : Le flagellé vert Chlamidomonas avec ses flagelles capteurs et moteurs F, son blépharoplaste B et son noyau N. Ce dernier est relié à B par un fin filament conducteur. *A droite* : Un Stentor avec sa couronne ciliée et son macronucleus A disposé en chaîne ganglionnaire.

noyau de la cellule. G. Bohn ajoute : « ...comme s'il y avait un influx moteur du noyau aux corpuscules basaux ». A notre tour, nous compléterons : l'influx n'est pas unidirectionnel et seulement centrifuge, il peut aussi être centripète, sensitif et avertisseur. Dans ses mouvements flexueux il est alternativement nerf et muscle; il n'est même pas interdit de penser qu'il peut l'être simultanément, les diverses fréquences des excitations et des incitations qu'il transmet (processus périodiques ou ondulatoires) leur permettant, comme en télégraphie, de cheminer sur le même fil de transmission et d'être recueillies individuellement par un dispositif sélecteur, formé d'un assemblage de résonateurs possédant chacun sa période propre de vibration. En cette

occasion, le noyau sélecteur est déjà un prototype de système cérébro-spinal.

Ainsi, la sensibilité et la motricité, généralement considérées comme des attributs essentiels de l'animalité trouvent leur source profonde, comme nous venons précédemment de le signaler, chez l'Algue, élément végétal par excellence. Il n'est donc pas téméraire d'avancer, comme nous le faisons, que les critères sur lesquels se basent, et notre Systématique classique, et mille et une appréciations formulées journallement sur les phénomènes caractéristiques présentés par le vivant, appellent une sérieuse remise en considération.

Arborisations animales. — L'appareil nerveux abonde en formes radiculaires et celles-ci sont particulièrement révélatrices, en ce sens qu'elles permettent de remonter de la Morphologie à l'Energétique.

Comme on sait, l'étincelle électrique qui apparaît entre deux éclateurs assez rapprochés l'un de l'autre est d'apparence rectiligne. Ainsi que P. de Heen en a apporté la démonstration, cette étincelle est, dans la réalité, tubulaire cylindrique; mais ce cylindre est une hélice à spires jointives, comme le serait un ressort à boudin aplati dans la direction de son axe. Dès que la distance entre éclateurs augmente, l'étincelle se disjoint et se divise en menues arborisations dont la formation est due aux résistances s'opposant à sa marche rectiligne; l'étincelle, en une certaine manière, se répand et se dilue dans l'atmosphère, y prenant ces figures qui ont été étudiées par de nombreux chercheurs.

De ce fait très simple et bien connu, nous devons tirer une déduction : la forme radulaire n'est qu'une résolution de la forme tubulaire hélicoïdale, et ce sont les circonstances de milieu qui déterminent l'une ou l'autre. Or, les arborisations abondent dans l'organisation du vivant, aussi bien chez l'animal que chez le végétal. Elles sont multiplicatrices des relations s'établissant entre l'être et le milieu où il se développe, si bien qu'on est irrésistiblement porté à envisager une relation de cause à effet entre morphologie apparente et processus énergétiques dont elle constitue le support visible.

La différence essentielle entre le Végétal et l'Animal tient en ce que le premier déploie ses relations dans un volume toujours

grandissant et conquiert l'espace autour de l'axe sur lequel il s'est fixé, alors que le second, au lieu de les extérioriser comme fait la plante, les intériorise, les ramasse en un espace clos, théoriquement ovalaire, mais qui possède, grâce à d'ingénieux systèmes appendiculaires, la faculté d'embrasser l'espace grâce à cette sorte de don d'ubiquité qui lui est assuré par la locomotion.

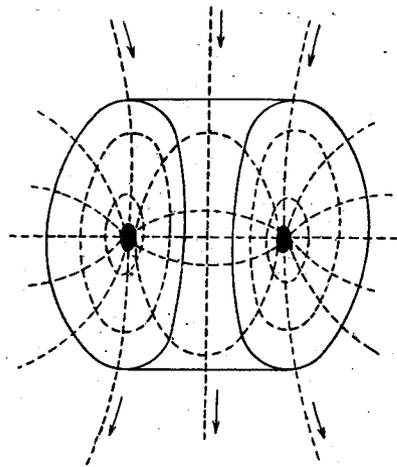


FIG. 73. — Schéma d'organisation animale (en coupe). Cette organisation s'établit en forme de tore, avec revêtement extérieur phycôde épidermique, et anneau intérieur également phycôde, mais muqueux. Le tourbillon est nutritif par la bouche supérieure, éjecteur par sa sortie inférieure (nutrition). Les phanères flagellés s'établissent, avec leurs fonctions respectives sur les lignes de force du champ énergétique. Les flèches indiquent le mouvement des ingesta et des excréta.

son, il devient quasi impossible de voir dans l'arbre dépouillé de son feuillage et dénudé comme il l'est en hiver, autre chose qu'une étincelle matérialisée par les substances qui se sont accumulées sur son trajet, et comme une trace vivante d'échanges électriques intervenus entre l'atmosphère et le sol. Pour nous, *l'arbre est une étincelle figée*. La disposition hélicoïdale, si nette sur les lignes de fissuration de certaines essences — marronniers, par exemple — ne fait que nous renforcer dans notre pensée (1).

(1) Nous ne pouvons insister davantage sur cette question. Nous devons toutefois signaler que, d'après nos conceptions, il n'est pas rigoureusement exact, du point de vue des idées qu'on peut se faire concernant les phénomènes vitaux, de considérer

L'arbre pulmonaire animal est l'homologue, mais inversé, de la partie aérienne de l'arbre végétal. Egalement, le fonctionnement de l'appareil est inversé : absorption d'oxygène dans un cas, rejet dans l'autre. Poussons les choses plus loin, et nous sommes alors conduits à envisager, par similitude, un fonctionnement électrique du poumon... Le travail a peut-être déjà été fait, qui consisterait à établir un parallèle entre Animal et Végétal, en fonction de cette considération primordiale que l'un est exactement l'inverse de l'autre.

Le « circuit fermé » des excréments. — Dans les excréta de l'Animal, nous avons tout à l'heure signalé la présence de matières usées et celle de modalités énergétiques diverses, allant de la calorigénèse à l'électrogénèse, de la photogénèse à l'émission sonore, de la production mécanique symbolisée par le mouvement actuel ou virtuel (locomotion ou soutien de poids) jusqu'à la pensée.

Mais quand, au juste, une matière peut-elle, en dehors des conditions du laboratoire de chimie, être considérée comme « usée », une énergie peut-elle être considérée comme définitivement dégradée? Si l'on suit le cycle vital de ses origines à son apex, on remarque aussitôt que, semblable à une industrie bien organisée et où l'on fait argent de tout, le mécanisme vital a progressivement mis en nouvelle exploitation ce que ses prédécesseurs avaient rejeté comme rebut sans valeur : c'est ainsi que les Homœothermes ont conservé le déchet « chaleur » pour améliorer leur rendement, alors que les Poïkilothermes le lais-

que la plante pousse grâce au pompage exercé par ses racines sur les matières contenues dans le sol. Evidemment, on ne peut pas dire que cette conception est entièrement fautive, mais elle empêche de voir, dans toute son ampleur, le vrai mécanisme du développement végétal. La plante pousse à la fois dans deux sens opposés, l'un aérien et primitif, l'autre souterrain et secondaire; le collet représente le plan diamétral de ces deux développements adverses et sa position correspond sensiblement au zéro des potentiels, en ce qui concerne les effluves résultant des échanges électriques continus entre l'atmosphère et le sol.

Le rôle de ces échanges dans la vie animale est bien moins évident. Cependant, de nombreuses observations faites en Météoropathologie tendent à confirmer la réalité de son existence. Des expériences récemment entreprises en Italie tendent à établir que l'ionisation de l'atmosphère constitue un facteur indispensable au maintien de la vie. L. Cesari a placé trente quatre cobayes dans une cage isolée du sol et dont le revêtement métallique arrêtait l'influence du champ électrique atmosphérique; les animaux ont perdu du poids, sont devenus inertes et sont morts en quelques jours. L'autopsie n'a révélé aucune lésion perceptible. Si l'on interrompt l'expérience à temps, les animaux reprennent leur poids et leur santé.

saient se disperser dans l'ambiance, dont ils restaient, de cette manière, plus étroitement solidaires. Cette remarque semble s'étendre jusqu'aux Hormones; les sécrétions endocriniennes, indispensables aux Vertébrés, quoique agissantes sur l'Insecte, n'ont jamais pu être décelées chez lui, tout au moins dans l'emploi systématique qui en est fait, par exemple, chez l'Homme.

L'Electrogénèse, chez les Torpilles, s'extériorise comme moyen de défense, par l'intermédiaire d'un appareil qui est un simple muscle à fonctionnement inversé; chez l'Homme, elle ne franchit pas les limites de la musculature, qui la transforme en puissance mécanique (ou en puissance calorifique dans le phénomène du frisson), par un dispositif que nous avons autrefois assimilé à un condensateur à diélectrique élastique et semi-conducteur. Quoique cette théorie présente l'avantage d'être en concordance parfaite avec l'ensemble des constatations relevées par les Physiologistes, ceux-ci ont préféré s'adresser à une théorie purement chimique qui explique tout, sauf ce qui est l'objet même des recherches entreprises : pour quelle raison un muscle se contracte!

Les animaux des bas-fonds marins ont un remarquable pouvoir de Photogénèse et s'éclairent eux-mêmes en utilisant un œil frontal à fonctionnement émetteur au lieu d'être récepteur.

Sur les émissions sonores, du simple cri à la parole, il n'est guère besoin d'insister, si ce n'est pour faire remarquer qu'il existe une manière de balancement entre ce mode d'extériorisation énergétique et cet autre mode qu'est le mouvement. Si ce dernier est un exutoire de la sensation, le cri en est un autre, surtout dans le cas où l'excitation provoquée a été particulièrement forte. En règle générale, mais non absolue, les individus qui se dépensent dans la phonation se dépensent beaucoup moins en actes mécaniques. Ceci compense cela.

La locomotion, si nous voulions l'examiner dans toute la série animale, nous contraindrait à des développements trop amples par rapport aux limites de notre volume. Nous n'en dirons donc rien, à part cette remarque : en conformité de la proposition émise dans la première partie de ce travail, la locomotion est invariablement de nature hélicoïdale ou, ce qui revient au même, sinusoïdale. L'Homme croit qu'il marche.

Au vrai, il rampe. Il ne faudrait pas croire à une galéjade : en suivant attentivement les mouvements de la colonne vertébrale d'une personne qui marche, il est très net que cette colonne est animée d'un mouvement de reptation qui, pour être, la plupart du temps, fort amorti, n'en est pas moins réel. Mais, finalement, c'est une cycloïde que décrit, par exemple, un point choisi sur l'abdomen du marcheur, comme si ce dernier se déplaçait en roulant sur une roue imaginaire. Les Quadrupèdes sont animés de deux mouvements sinusoïdaux, l'un décrit dans un plan vertical, l'autre dans un plan horizontal.

On s'étonnera, sans doute, de nous voir inclure la pensée dans les excréta de l'individu, et l'on nous reprochera peut-être de l'avoir confondue avec son expression. Mais cette dernière, c'est le rejet pur et simple, c'est l'abandon, c'est le retour à une ambiance quelquefois susceptible d'en tirer profit d'une énergie minime, mais formidable en ses effets parce qu'elle est *déclenchante*, ou servo-dynamique, telle une amorce de fulminate mettant le feu à une charge de poudre. La pensée, c'est un mode de vibration se traduisant en sinusoïdes tellement complexes que l'application du théorème de Fourier userait plusieurs générations à la résoudre en ses sinusoïdes élémentaires (1).

Théorie physique de la conscience. — Nous sommes trop près du terme de ce travail pour produire autre chose qu'une ébauche, en ce qui concerne le problème de la *conscience*, celle-ci prise dans son sens physiologique et non point au sens qui lui est attribué par la morale. La perception consciente, qui est une manière de *relief* introduit dans nos sensations, n'appartient, selon nous, qu'aux êtres composés, organisés pour un double enregistrement dans le domaine de la sensibilité. Les êtres à constitution simple, uniciste, peuvent sentir et souffrir, mais ils n'en ont point la conscience vraie et *situante*. Une telle proposition demande explication.

A. Lartigue signale que A. Righi a étudié, dès 1873, les courbes

(1) On pourra également nous faire reproche de ne pas avoir abordé un sujet de très haute importance, qui est celui de la *volition*. On voudra bien ne pas nous en tenir rigueur : cette abstention, d'ailleurs toute provisoire, est intimement liée au désir que nous avons de ne provoquer, dans cet ouvrage, aucune occasion de discussions d'ordre métaphysique, et de nous maintenir dans le domaine de la physique pure, sans chercher à aller au-delà de ses limites naturelles.

spatiales que l'on obtient en composant trois mouvements harmoniques rectangulaires, c'est-à-dire par extension de la théorie de Lissajous au cas d'un mouvement trivibratoire. Cet auteur a montré comment « avec une prodigieuse variété d'aspect, ces courbes se déforment progressivement et se contournent de toutes manières, donnant naissance aux plus gracieux effets ». Puis, il a formulé cette remarque, capitale par ses incidences biologiques : « C'est avec des images photographiques qu'on obtient les plus beaux effets stéréoscopiques; mais les plus surprenants sont toutefois les effets de relief obtenus par de simples dessins au trait, sans aucun secours de clair-obscur ni d'ombre ». Le P. Dechevrens, dont nous avons signalé l'ingénieux *campylographe* (V. p. 73), a dit, de son côté : « Si l'on fait deux tracés consécutifs d'une même figure, le second étant fait après avoir légèrement déphasé l'appareil, les deux images obtenues réalisent les conditions nécessaires et suffisantes pour que la courbe soit vue stéréoscopiquement. On a la sensation de voir le tout formé d'un fil de fer continu dont les spires passent les unes en avant des autres, en donnant la sensation exacte du relief ».

Voilà qui est bien entendu : la qualité « relief » est indissolublement liée à une question de déphasage, donc à ce fameux φ , familier à tous ceux qui se sont livrés à l'étude des courants électriques sinusoïdaux. Il suffit ainsi que deux phénomènes périodiques, rigoureusement identiques dans leurs caractéristiques, soient décalés dans le temps, l'un par rapport à l'autre, et d'une quantité minime, mais bien déterminée, pour que leur projection semble s'évader du plan de projection et s'installer dans l'espace à trois dimensions.

C'est à sa constitution d'être *double*, symétrique par rapport à un plan vertical (1) antéro-postérieur, que l'Homme doit le relief de ses sensations. Il possède deux yeux pour voir, deux conduits nasaux pour sentir les odeurs, deux oreilles pour entendre

(1) L'Homme est plus qu'un animal double. Son organisation métamérique a été autrefois signalée par Durand de Gros. J. Péladan a montré, d'autre part sa symétrie par rapport à un plan horizontal passant à peu près au niveau de l'ombilic. Mais on peut porter à trois plans perpendiculaires entre eux, analogues aux plans de coordonnées cartésiennes, les plans de symétrie de l'homme, ce qui détermine huit trièdres dans son organisation. Le point d'intersection de ces trois plans est à situer dans la région du plexus solaire. Ce point est suffisamment intéressant pour que les travaux des auteurs ci-dessus, qui prennent origine dans un travail de Vicq d'Azyr, soient repris en fonction des données acquises par la science moderne.

et c'est grâce à cette duplicité d'enregistrement qu'il lui est loisible de *situer* l'origine de la sensation perçue. C'est au Dr B. Bourdeaux qui a réalisé sur ce principe d'admirables projections cinématographiques en relief, que nous devons d'avoir eu notre attention attirée sur ce sujet et de lui avoir donné l'extension dont nous venons de donner un aperçu.

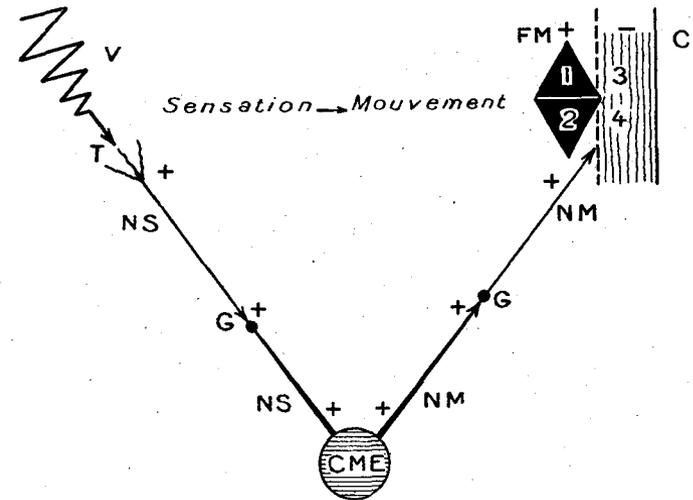


Fig 74. — Schéma du fonctionnement électrique animal.

LÉGENDE

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| V vibration. | CME noyau médullaire, |
| T terminaison nerveuse. | NM nerf moteur. |
| NS nerf sensitif. | G vaisseau capillaire. |
| G ganglion nerveux. | FM fibrille musculaire. |

Les vibrations (mécaniques, calorifiques, électriques ou lumineuses) sont captées par les terminaisons nerveuses qui fonctionnent de la même manière que des antennes. Ces vibrations engendrent des charges positives d'électricité qui sont transmises par le nerf à la moelle ou au cerveau. Les ganglions sont des capacités électriques formant « relais » comme ceux employés en télégraphie par fil. L'excès des charges positives enregistrées par la moelle est transmis par le nerf moteur qui excite la « génératrice » organique d'électricité. Le nerf moteur est, en quelque sorte, le servomoteur du muscle.

La génératrice est un couple hydro-électrique formé, d'une part, par les substances musculaires [sels de potassium (1) et glycogène (2)] et, d'autre part, par le sérum sanguin (3) renfermant l'oxyhémoglobine (4). Ce dernier corps est le dépolarisant de la pile. Le vase poreux est constitué par la paroi du capillaire.

Tel est, résumé en principes essentiels, le fonctionnement électrique de la machine animale.

Rétablissement d'équilibre. — Examinée du point de vue énergétique, la vie n'est donc autre chose qu'une suite de rétablissements d'équilibre dans l'ordre tourbillonnaire, ce dernier pouvant se caractériser surtout dans des manifestations de nature soit électrique, soit vibratoire. Le vivant est un peu dans la même situation qu'un accumulateur-tampon ou qu'un lac-réservoir, et nous aboutissons à cette constatation qu'il joue un rôle éminent de régulateur et d'amortisseur dans le jeu naturel des forces cosmiques. A vrai dire, on le savait déjà par la fonction tempérante qui a été reconnue à la végétation dans le régime des pluies et orages affectant une région déterminée; on a pu apprécier l'erreur du déboisement intensif. Mais le principe que nous posons est d'ordre plus général et l'exemple que nous en produisons pour le faire mieux saisir n'en représente qu'un cas particulier. Comme corollaire, il faut songer à l'équilibre régnant entre vivants de toute sorte, et à la solidarité qui les tient, encore que cette solidarité prenne trop souvent des aspects contraires à ceux qu'elle devrait montrer.

Mais ces rétablissements d'équilibre ne jouent à plein que chez la Cellule autonome ou chez l'Individu pris dans son entier. Au fur et à mesure que les associations cellulaires prennent plus d'ampleur et plus d'importance, les éléments composants sont de plus en plus strictement obligés, pour maintenir l'intégrité vitale de l'ensemble, d'obéir à une spécialisation s'affirmant toujours davantage. Ce qui est une règle pour les associations cellulaires composant les individus, en est encore une dès qu'il s'agit de ces sociétés d'individus composant les nations.

Une différenciation toujours plus poussée qualitativement se manifeste chez les cellules somatiques des organismes composés. Elle n'est que la traduction de cette nécessité dans laquelle se trouvent les cellules de maintenir leur équilibre vital ou de disparaître. La cellule différenciée est à la cellule embryonnaire ce que l'ouvrier spécialiste est au bricoleur bon à tout, mais propre à rien de vraiment productif. Mécaniquement, ou philosophiquement, nous ne devons voir, dans une telle tendance évolutive, que l'amortissement progressif d'un rythme oscillatoire, et nous sommes obligés de constater que les sociétés progressent uniquement par la loi qui les entraîne vers leur chute.

Dans un organisme complexe, comme le corps d'un mammifère, par exemple, chaque cellule n'a plus qu'un rôle déterminé et, en quelque sorte, passif par rapport à celui qu'elle serait obligée d'assumer en vivant isolée. Il se crée une interdépendance cellulaire comme, à l'échelon supérieur, il s'installe une interdépendance individuelle ou sociale où l'affranchissement qui semble être conquis vis-à-vis de certaines servitudes imposées par la vie se paie d'une réduction des initiatives particulières dans une existence plus disciplinée. Et nous retournons ainsi vers cette constatation déjà faite lorsque nous avons montré que la vie était un phénomène comportant ses degrés : la conquête de la liberté ne comporte que des victoires à la Pyrrhus; au fur et à mesure que nous gagnons sur un tableau, nous perdons sur tous les autres. Plus l'individu se replie sur lui-même, s'organise, s'arme pour s'extraire du milieu, plus il cherche à se rendre invulnérable, plus il met à son service des moyens qu'il croit propres à lui assurer cette indépendance faite en sa plus grande part d'une « volonté de durer », et plus aussi cet individu est contraint de s'inféoder, de se lier à son semblable, de s'incorporer dans un système général d'organisation, de marcher sous une stricte obédience. Plus l'organisme devient puissant, plus ses composants deviennent individuellement asservis et vulnérables. La liberté ne se conquiert pas, elle se déplace...

Dans cette existence où la diversité des possibilités se trouve amoindrie au profit de la spécificité fonctionnelle, la cellule, sous la domination de ce rythme ralenti, dépense peu et, par suite, emmagasine peu. Son équilibre est très stable par rapport à celui de l'infusoire cilié, si bien que nous pouvons formuler cet axiome, qui découle directement de la mécanique des oscillations : plus une cellule est différenciée, plus elle est stable. Cette loi est aussi évidente que si nous disions : plus s'allonge le bras de levier d'un pendule, plus sont faibles les dénivellations de ses oscillations libres de part et d'autre de la verticale.

En résumé, plus une cellule est stable, plus son rythme vital est ralenti, plus cette cellule se rapproche du minéral, plus sa durée se prolonge et moins la cellule est sensible aux vicissitudes, c'est-à-dire aux vibrations affectant la cellule embryonnaire, la cellule à caryocinèse. Ce principe n'est que l'expression en

d'autres termes de cette loi pendulaire en vertu de laquelle un balancier est d'autant moins affecté par les vibrations parasites de petite amplitude, ou de très grande fréquence, que sa longueur est plus grande ou, ce qui revient au même, que sa fréquence d'oscillation est plus faible.

Vie autonome. Vie parasitaire. — A la vérité, il n'y a pas de vie qui ne soit parasitaire : d'une catégorie d'êtres à l'autre, une seule chose change : la forme du parasitisme. Car il en est ainsi : *le vivant vit du vivant*, et il ne peut vivre que de cela (1).

La seule différence entre les uns et les autres, c'est que, certaines espèces font du parasitisme franc, en s'acoquinant complètement à un être d'une autre espèce, par lequel ils se font porter, nourrir, entretenir et qu'ils arrivent parfois à vider complètement de sa substance, ce qui est fatal pour l'un et pour l'autre. De tels parasites sont généralement des organismes fort inférieurs dans la hiérarchie animale ou végétale. Mais, pour peu qu'on y réfléchisse, on se demande à quoi une organisation plus poussée et plus perfectionnée pourrait leur servir : pour de tels êtres, la question de rendement ne se pose pas : ne vivent-ils pas entièrement aux dépens de leur hôte et ne sont-ils pas assurés, ainsi, de couvrir tous leurs besoins sans autre geste à accomplir que de faire fonctionner leurs sucoirs?

Tout autre dans son aspect, tout pareil dans son essence, est le mode d'existence qu'on considère comme une « vie autonome ». Là, les uns sont herbivores, les autres sont carnivores et d'autres encore, qui aiment à se nourrir à tous les râteliers, sont omnivores.

Le fait de l'existence de telles catégories marque une *option* entre deux modes de vie assez différents, et vient encore justifier l'axiome du déplacement des libertés sans gain positif possible; voyons cela de plus près.

Un carnivore, c'est un animal qui augmente son rendement vital en ingérant une nourriture riche en matériaux énergé-

(1) Il faut bien entendu, mettre à part les êtres autotrophes. Ceux-ci ont conservé, comme le germe, la quasi-immortalité originelle en se restreignant sur tous les tableaux où ont mis les êtres hétérotrophes.

tiques, matériaux qui sont, d'autre part aisément et rapidement assimilables, ce qui réduit d'autant le taux du travail interne de la nutrition. Sous ce rapport, le carnivore est plus « affranchi » que l'herbivore. Mais il y a une ombre au tableau : on ne trouve pas toujours une proie à se mettre sous la dent ou dans le bec; il faut se mettre en quête ou rester à l'affût, c'est-à-dire, soit dans l'espace, soit dans le temps, perdre une grande partie de l'énergie si aisément incorporée lorsque le repas est assuré, à assurer le repas suivant. Les carnassiers sont des vagabonds vivant une vie de hasard et leur rendement final se ressent de cette obligation que leur impose la nature.

Les herbivores sont des animaux venus dans la lutte pour la vie avec un tempérament de petit fonctionnaire : en se contentant d'une nourriture végétale, ils sont assurés de trouver, autant dire à volonté, la pâture qui leur convient et d'assurer une certaine continuité à la satisfaction de leurs besoins alimentaires et énergétiques. Par contre, la digestion leur est plus pénible et nécessite un tube digestif plus compliqué, un travail d'assimilation plus intense. Ce qu'ils ont gagné d'un côté, ils l'ont perdu de l'autre, avec cette aggravation qu'ils constituent une proie toute désignée pour les animaux de l'autre classe.

En bref, les carnivores dépenrent en travail extérieur les économies qu'ils font sur leur travail interne de nutrition et les herbivores, en s'évitant le travail externe de la chasse, augmentent d'autant leur travail intérieur d'assimilation. Dans l'expression du rendement de l'animal, il semble bien que l'on ne puisse varier le numérateur dans un sens, sans être contraint à faire varier le dénominateur dans le même sens, ou inversement; le résultat en est que les variations du quotient sont moins importantes qu'il ne semble quand on regarde les choses superficiellement.

Herbivore ou carnivore, l'un et l'autre ne vivent, finalement, que de la substance d'autres entités vivantes. Ils se sont libérés du parasitisme absolu et réel, mais n'ont pu faire autre chose que se maintenir dans un parasitisme différé ou discontinu.

Double face des processus biologiques. — Tous les phénomènes vitaux se présentent donc à nous sous un double aspect

tenant essentiellement à leur nature oscillatoire. Janus *bifrons*, avec ses deux faces, pourrait bien être le dieu de la biologie. Et c'est bien pour cette raison que tel observateur assignant un sens déterminé à un processus biologique, voit parfois se dresser devant lui un autre observateur qui assigne au même processus un sens diamétralement opposé.

Ce double aspect, cette bipolarité qui est une des caractéristiques essentielles des dispositifs de la nature, aussi bien que des phénomènes dont ils constituent le support, ne semble pas avoir retenu l'attention dans la mesure où il le mérite. Nous sommes toujours un peu trop enclins à accorder un caractère absolu, péremptoire, définitif aux lois scientifiques que nous formulons et à oublier que ces lois sont telles, parce que nous nous introduisons en observateurs dans les phénomènes; puis que, les codifiant, nous ne songeons pas à nous dépouiller de cette qualité d'observateurs.

La vérité est que les phénomènes biologiques n'ont d'autre sens que celui que nous leur attribuons; en semblable matière, il n'y a et il ne peut y avoir que des points de vue. *Contraria sunt ejusdem generis* : la médication comme la maladie ne constituent, l'une et l'autre, que deux aspects d'un même phénomène général, une *agression* survenant contre un organisme vivant et troublant son équilibre normal. Nous avons, par convention, décrété que certaines de ces agressions sont maléfiques, et nous les avons dénommées maladies, alors que les secondes sont censées nous apporter quelque soulagement, et nous les avons qualifiées remèdes. Tout cela est bel et bon. Il n'en reste pas moins qu'à prendre trop à la lettre les distinctions ainsi établies, on risque d'en garder l'esprit faussé.

Si nous jugeons les choses par leur aspect mathématique nous sommes aussitôt contraints de constater et d'admettre que, maladie ou remède, c'est tout un : la même équation, la même allure de courbe, le même comportement réactionnel général de l'organisme ne connaissent de différences d'ordre secondaire que dans la valeur de certains coefficients ou paramètres.

Il y a donc quelque chose d'illusoire dans une trop stricte classification du bien et du mal en matière de phénomènes

naturels. La Nature ne classe pas, elle agit. Il y a des maladies heureuses pour les organismes qui ont à les supporter, par exemple des fièvres qui déclenchent chez les jeunes une poussée de croissance, ou de petits maux qui nous immunisent contre de plus grands; n'est-ce pas là le mécanisme essentiel des vaccinations (1)?

Et ceci nous conduit vers une autre constatation qu'il ne nous souvient pas d'avoir vu mettre en lumière, malgré l'importance dont elle se revêt du point de vue thérapeutique. Chez tous les individus jouent, comme nous l'avons dit, une infinité de *tampons*, d'ordre mécanique ou d'ordre chimique, chargés d'enlever aux réactions naturelles ce qu'elles peuvent avoir de brutal, et par là de dangereux pour l'organisme au sein duquel elles prennent naissance. Or, d'un individu à l'autre, les possibilités intrinsèques du jeu de ces tampons prennent des valeurs différentes. En gros, nous pouvons dire qu'il y a des sujets bien tamponnés et d'autres qui le sont mal. Mais, par définition, les organismes les mieux tamponnés sont ceux qui sont le mieux organisés pour se défendre contre *toutes* les agressions survenant de l'extérieur. En raison même de ce que nous venons de nous évertuer à mettre en avant, un organisme ne saurait faire de distinction nette entre le mal et le remède; il se contente de réagir, ceci en fonction seulement, et des caractéristiques de l'agression, et de celles de ses systèmes de défense.

Nous aboutissons ainsi à cette constatation que ce sont les immunes, les individus les mieux défendus contre les atteintes de ce que nous qualifions le mal, ce sont ceux-là qui sont le plus inaccessibles à l'action des médications. Le thérapeute a maintes fois l'occasion d'en faire l'observation : ceux qui semblent le mieux protégés contre les atteintes de la maladie, sont aussi ceux qui, lorsqu'ils se sont laissés prendre, courent avec la plus grande vitesse vers l'exitus...

Et cette bipolarité qu'affectent tous les phénomènes vitaux, est revêtue par la mort elle-même, qui peut survenir tantôt par carence et tantôt par pléthore. Elle rappelle invinciblement à notre esprit le fameux sabre de M. Joseph Prudhomme, « lequel

(1) A moins que fièvre et croissance constituent seulement deux conséquences directes, deux aspects différents d'un troisième phénomène déclenchant...

servait à défendre les institutions et, au besoin, à les combattre ». Ne savons-nous pas que ce sang, tissu noble par excellence lorsqu'il concourt à renforcer notre immunité et nos défenses naturelles, est un bien fâcheux ami de notre organisme lorsqu'il nous assène ce pavé d'ours qu'est une septicémie : cette dernière, tout comme les néoplasies, et d'autres troubles pathologiques encore, se trouve aggravée par la bonne qualité du sang en jeu, et chacun sait que les évolutions s'en poursuivent à un rythme accéléré chez les sujets jeunes, robustes et sains. En sorte que réside une sorte de danger potentiel dans le fait de jouir d'une trop bonne complexion. Injuste retour...

Mais tout cela, direz-vous, n'est que philosophie, sans grande portée pratique. Voire...

CHAPITRE XXI

CONCLUSION

« J'ai jugé qu'il fallait que la connaissance que les hommes peuvent avoir de la nature fût tirée des principes de la géométrie et de la mécanique, parce que toutes les autres notions que nous avons des choses sensibles étant confuses et obscures, ne peuvent servir à nous donner la connaissance d'aucune chose. »

DESCARTES (*Principes*, IV).

A relire ce qui précède, nous avons la sensation de n'avoir guère cessé de nous répéter, tout en livrant un travail incomplet, et nos lecteurs auront sans doute le même sentiment. Mais ce défaut n'était-il pas inscrit dans le problème même qu'un peu témérairement, peut-être, nous avons abordé? La vie n'est-elle pas en soi une répétition constante de procès analogues dans leur essence, s'établissant selon les mêmes principes ou suivant les mêmes lois?

Tout bien pesé, les phénomènes naturels sont des phénomènes étagés, allant du simple au composé, et du composé à l'inextricable. Pour, avec quelque compréhension, tenter de les suivre dans leur ensemble, nous sommes contraints à passer constamment d'un étage à l'autre, tantôt nous élevant, tantôt redescendant. Il nous faut aller de l'éther à l'atome, de celui-ci à l'élément figuré plus ou moins accessible à nos sens et, de là, tourner nos regards vers le cosmos pour ensuite, accomplir le même chemin en sens inverse. Ainsi seulement peut se former et se perfectionner notre intelligence des choses, par la connaissance de leurs assises à des échelles différentes, et par comparaisons itératives.

Pascal, écrivant contre ceux qui approfondissent trop les sciences, a lancé à l'adresse de Descartes : « Il faut dire en gros : *cela se fait par figure et mouvement, car cela est vrai*. Mais de dire quels, et composer la machine, cela est ridicule; car cela est inutile, et incertain et pénible. Et quand cela serait vrai, nous n'estimons pas que toute la philosophie vaille une heure de peine ». Oui bien, mais la complexion de l'Homme est ainsi tournée que son esprit demeure en tourment tant que, n'ayant pas démonté pièce à pièce, puis recomposé la machine, il ne parvient pas à imaginer ce qui la peut faire marcher. Par là peut se tenter la justification de l'essai auquel nous nous sommes livré.

Il nous apparaît bien certain que tout se traduit par *mouvement directeur et figure conséquente*. Nous nous sommes longuement attaché, dans ce volume, à montrer que la forme était la traductrice, et mieux encore, la révélatrice du mouvement sous-jacent. Elle est la trace, ou fugitive, ou relativement permanente, des énergies qui se sont employées à l'établir et qui, passant du potentiel à l'actuel, se sont progressivement dégradées, puis usées à la tâche.

Considérant le mouvement en soi, nous nous sommes efforcé de mettre en évidence l'attention qu'il est bon de porter aux mouvements tourbillonnaires. Ceux-ci s'engendrent par la Loi du moindre effort associée au jeu des dissymétries qu'introduisent obligatoirement, dans tous les systèmes matériels, les résistances opposées au libre développement de la translation rectiligne. Le contournement de l'obstacle fait naître ce « rotationnel » qu'il faut tenir tout à la fois pour un économiseur et un stabilisateur d'énergie.

Passant à l'étude des champs de forces tourbillonnaires, quelle qu'en soit la classe précise où la Physique les range et les examine, nous avons vu que les particules matérielles tendaient, selon une spécificité propre liée à la nature du champ d'action, à s'assembler soit sur ses lignes de force, soit sur ses surfaces équipotentiels. En d'autres termes, c'est par *sélection* des éléments matériels dans les champs d'*agitation* entretenue, que se préparent les arrangements figurés accessibles à nos sens. Nous espérons, par cette vue synthétique, avoir fourni des

bases rationnelles, parce que géométriques et mécaniques, à la Morphologie générale.

Dans un temps où l'étude des Isotopes a conduit les Biologistes engagés sur les routes incertaines de la découverte, à user de ces éléments radio-actifs comme de « cailloux du Petit Poucet », nous avons fait effort pour apporter aux chercheurs une méthode du même ordre et, par la trace morphologique subsistante, procurer un indice permettant fréquemment de retrouver l'*instigateur* du procès constaté, au vu de la figure qu'il a abandonnée derrière lui. Sans matière, pas de mouvement décelable, parce que pas de repères accessibles à notre entendement, pas de comparaison possible à établir.

Transférant au domaine de la Biologie les données acquises, grâce au secours des méthodes qu'on vient de voir, dans le domaine de la Physique, nous avons entrepris d'aborder le troublant problème de la Vie. Prenant appui sur cette notion, déjà entrevue par Cl. Bernard, d'une « cause première, créatrice, législative et *directrice* de la vie, et d'une cause prochaine ou *exécutive* du phénomène vital » (*il y a comme un dessin vital*, disait-il), nous nous sommes essayé à faire voir, en suite logique avec nos prémisses, qu'un simple champ tourbillonnaire pouvait suffire à ce rôle d'*organisateur*, qui est dans la pensée de nombreux et éminents représentants de la Biologie moderne.

Les développements de cette hypothèse première nous ont amené à soupçonner une organisation tripartite du « phénomène vie », où se conjuguent un élément dominateur, une masse asservie, une ambiance générale indifférente, mais peu à peu conquise et contrainte à entrer dans l'aire d'influence du « maître d'œuvre », déterminant, de la sorte, une *circulation*. L'épanouissement de la vie, qui n'a été à son début qu'un extraordinaire foisonnement multiplicateur d'éléments microscopiques et quasi standardisés, s'est poursuivi, et haussé, par la survenue d'associations commandées par le « moindre effort » et aboutissant à un résultat de conservation et de durée.

D'abord simplement coloniale, par juxtaposition, l'association est bientôt devenue parasitaire. Ainsi le voulait la pression des circonstances cosmologiques qui ont déterminé l'Algue primitive et autotrophe à se muter en Champignon hétérotrophe, devenu

hétéromorphe par la révolution introduite dans son mode de nutrition. Le parasitisme justement équilibré qu'est la Symbiose, où s'assemblent des éléments complémentaires, a doté le Monde d'une vie établie à un degré plus élevé que précédemment. Nous avons formulé cette opinion que les Symbioses exigeaient une recherche méthodique et longuement poursuivie, en raison de l'importance qu'elles semblent revêtir dans l'Evolution générale des Etres organisés.

Cette Evolution s'est peu à peu réalisée, au cours de millénaires. La Nature s'y est dépensée en un nombre invraisemblable d'essais successifs dont, seuls, ont subsisté ceux qui étaient solidement viables. De ces essais, certains ont laissé des traces géologiques, mais plus multipliés, peut-être, ont été ceux dont la disparition n'a légué aux chercheurs aucune piste à suivre, ce qui n'a pas manqué de compliquer leur tâche.

C'est assurément par une série de bonds, par des développements nouveaux se manifestant en manière explosive, par des « mutations brusques » que le monde peuplant la Terre a le plus sérieusement changé de figure au cours des temps. L'Evolution lente et continue se poursuivant entre deux bonds successifs n'a marqué que des époques de remaniements intérieurs, de réajustements organiques venant harmoniser et régulariser les gains acquis au cours d'une mutation. N'est-ce point là l'image de la guerre, où les troupes victorieuses marquent, dans leur avance, des temps d'arrêt employés à l'organisation du terrain conquis?

Il n'est donc pas à croire que les Paléontologistes en quête d'établissement d'un *phylum* entre Protozoaires et grands Mammifères, puissent faire autre chose que besogne vaine. Etablir une filiation continue, là où il devient de plus en plus manifeste qu'il y a eu série discontinue et « greffes successives », mutantes, c'est tenir pour nuls et non venus les faits les mieux établis et les plus « parlants » de la Biologie : la pseudo-continuité de la vie réside uniquement dans une trompeuse apparence. Au vrai, le *germen* quiescent se développe en manière d'explosions subites, mais espacées les unes des autres. Le flot des morts-nés y est d'une grandeur saisissante quand on le compare au mince filet des parvenus à la *vie d'ordre second*, la seule exis-

tante, aux yeux du *servum pecus*. Entendons par là que cette vie mineure est celle du périssable *soma*, développement accessoire et appendiculaire du germe. Telle qu'il est loisible de la contempler, elle se déroule en métamorphoses successives. Chez l'Insecte, la discontinuité entre larve et *imago* est chose grossièrement manifeste; dans la chrysalide, le *soma* larvaire se liquifie et le germe se remet au travail d'une seconde édification, mieux appropriée à ses besoins reproductifs, et rendue possible par l'utilisation des matériaux accumulés durant la première phase. Pour se moins marquer chez le Vertébré, où la reconstruction n'est que partielle, donc plus discrète, elle constitue cependant un fait qui n'est nié par aucun Physio-Pathologiste, et qui s'exprime en phases critiques, en véritables mues, au cours desquelles le sujet se trouve dans un état plus ou moins accusé de vulnérabilité.

L'Individu est reconstruit de toutes pièces à chaque génération. Telle est la loi. Elle ne lui est pas particulière, mais domine aussi bien l'évolution des Espèces que celle du Monde organisé pris dans son entier. Elle n'est qu'une expression de cette résolution du Potentiel en Actuel, qui se manifeste en *quanta*, et dans laquelle, avons-nous dit, se résume toute la philosophie de la vie.

Haeckel, d'abord suivi dans l'enthousiasme, puis abandonné, et enfin repris, a formulé cette loi bien connue : « L'Ontogénie répète la Phylogénie ». Prendre cette affirmation au pied de la lettre, c'est, évidemment, prêter le flanc à une critique tatillonne, inapte à distinguer les infiniment petits du second ordre d'avec ceux du premier. Mais le fonds en résume une très grande vérité. Sous une autre forme, A. Dalcq a dit : « L'organisme adulte n'est que la révélation de ce que son œuf contenait en puissance » et R. Baron enseignait : « On ne peut réaliser et faire passer à l'état actuel que ce qui était précédemment à l'état virtuel ». Le vitellus, c'est « l'en-cas », de provision plus ou moins abondante, mis à la disposition du voyageur partant dans l'existence, et qui doit lui suffire jusqu'au moment où il sera en mesure de trouver un ravitaillement plus copieux. C'est à partir de là que le germe-organisateur commence son travail constructif du *soma*. Il ne suffit pas dans la seule exploitation de sa première

mise et, plus ou moins tôt comme plus ou moins largement, il s'engage, accompagné de ses premières réalisations, dans un parasitisme, ou réel, ou différé, qui lui permet de parfaire l'œuvre commencée. La Nature est une, et les moyens dont elle dispose — moyens que nous avons cherché à dégager dans leur essentiel — sont beaucoup plus limités qu'on ne le pourrait croire dans un examen sommaire : la construction des Individus n'a pu suivre d'autres techniques que celles ayant déjà servi au cours de l'Evolution et des Mutations. Chaque être qui vient au monde n'y parvient que par les voies déjà suivies par ses plus lointains ancêtres. Le développement de l'image latente s'accomplit toujours par le secours des mêmes révélateurs et des mêmes fixateurs.

Il existe, par ailleurs, dans la vie organisée, un principe de subordination progressive, une hiérarchie des parties se subordonnant à cet ensemble, ce « tout » que constitue le nouvel Individu. Ce principe, nous le retrouvons, identique à lui-même, dans les machines industrielles. Et, comme dans ces dernières, son application est soumise à cette recherche de l'Optimum que R. Baron a considéré comme un facteur biologique dominant. Cet optimum, c'est le compromis établi entre les qualités maxima qu'il est théoriquement désirable d'obtenir; celles qu'il est pratiquement possible d'atteindre sont assurément moindres, en raison de l'antagonisme qu'elles présentent les unes vis-à-vis des autres, mais ces pertes consenties représentent l'unique moyen de parvenir à l'établissement d'une harmonie durable dans l'ensemble réalisé.

Un dernier point retiendra, un instant, notre attention. Les constructions du vivant sont un sujet d'étonnement si l'on compare matériaux et moyens mis en œuvre, d'une part, et résultats obtenus, d'autre part. N'est-il pas remarquable qu'avec des ensembles matériels inclassables, parce que n'appartenant franchement ni à l'élastique, ni au plastique, ni au bon conducteur de chaleur ou d'électricité, ni à l'isolant digne de ce nom, bref, à des matériaux défiant toute spécification un peu précise, la Nature soit parvenue à de semblables édifications, capables de défier le temps et de persister, parfois, bien au-delà du terme de la vie qui en a été l'artisan?

Lancée à la conquête du Monde inorganique, la vie en a changé la face et l'a modelée à son empreinte. Dans son vaste système de pompage aspirant et foulant, tout est passé, passe, ou passera. Question de temps.

La vie, avons-nous dit, est née à l'échelle moléculaire. Elle continue peut-être, de nos jours, à naître à cette échelle et c'est la raison pour laquelle, si loin qu'ait été poussée l'étude de l'œuf et de son développement, il reste encore tant de conquêtes à réaliser avant que nous possédions une connaissance suffisante de ce que nous appelons, et qui reste encore, ses « mystères ».

Ce livre a été écrit par un Ingénieur et, en principe, pour des Ingénieurs. Peut-être aura-t-il aussi la chance de trouver audience auprès de certains Biologistes de profession, parmi ceux qui souhaitent, et cherchent à provoquer des confrontations de cerveaux nourris avec des disciplines différentes, pour le plus grand bien de leur Science.

Plus que jamais, une telle confrontation s'impose.

Tandis que le biologiste est parti à la découverte des mécanismes vitaux, l'ingénieur fait de la biologie sans le savoir, en combinant des mécanismes de plus en plus vivants, mais ayant tous des antériorités dans le travail de la Nature. Le travail par lequel nous tentons d'atteindre à la connaissance suprême se présente comme le percement d'un tunnel qu'on attaque à la fois par les deux bouts. Mais la jonction pourra-t-elle s'accomplir? Bien fol est celui qui pourrait prétendre à le prévoir.

De leur côté, biologistes ou physiologistes, bloqués en deux camps adverses, discutent entre eux depuis de nombreuses années. Nous trouvons, d'une part, les *finalistes* et, en face d'eux, les *mécanicistes*. Les finalistes, qui étaient, jusqu'à une époque très proche de la nôtre, les représentants d'une vieille école professant que nulle matière brute ne saurait constituer, *sans esprit*, des causes finales, et qu'un hasard ne produit pas plus un ordre affermi que la folie ne peut former la raison, les finalistes voyaient leur doctrine âprement combattue par leurs adversaires, les *mécanicistes*, ces derniers toujours soucieux de ramener à des dispositifs mécaniques tous les organes vivants et à des phénomènes mécaniques, toutes les fonctions de ces organes.

De telles discussions, encore qu'elles se soient poursuivies un peu trop longtemps, n'ont pas été complètement inutiles : elles nous ont appris à regarder sous toutes leurs faces les problèmes qui se posaient à la sagacité humaine. Il semble que le moment n'est pas éloigné où les partisans des doctrines antagonistes seront prêts à se réconcilier sur un terrain commun. Déjà, ils ne professent plus, les uns envers les autres, ce souverain mépris qui les divisait sans espoir. Bientôt, ils se rallieront à une formule commune, les mettant définitivement d'accord et s'approchant davantage de la vérité.

Dans tous les actes de la vie végétative, de la vie inconsciente, il est manifeste que le travail biologique est un *travail dirigé*, et tout se passe comme si une volonté extérieure, une intelligence suprême présidait à l'exécution de ce travail.

Étant sans aucun parti pris, et désireux de rechercher une vérité, d'accepter la solution de tous les problèmes que nous avons soulevés, quelle que fût cette vérité, quelle que fût la solution apparue, nous nous sommes efforcé de rester, dans toutes nos explications, aussi objectif que possible. Nous n'avons poursuivi qu'un seul but : essayer d'entraîner notre lecteur à penser, à méditer longuement sur les problèmes passionnants que pose la biologie. Au lecteur de juger si nous avons réussi dans notre entreprise.

Au demeurant, chacun, selon ses tendances naturelles et selon ses vues spirituelles, reste libre de donner à ce contrôle invisible dont la présence peut être soupçonnée dans tous les travaux composant les processus vitaux, la nature et la forme qui lui semblent les plus susceptibles de satisfaire sa curiosité comme sa propre conscience et de mettre son esprit en repos.

Et finalement, nous nous abriterons derrière Pascal : *qu'on ne dise pas que je n'ai rien dit de nouveau : la disposition des matières est nouvelle.*

BIBLIOGRAPHIE

1. J. AMAR. — *Le Moteur humain* (Paris, 1914).
2. M. A. ANTONI. — *L'Équilibrage et les Machines à équilibrer* (Paris, 1936).
3. P. AUBOURG, C. LAVILLE, P. LÉGO. — *La Négativation électrique* (Paris, 1934).
4. P. AUDUBERT. — *Les Piles sensibles à l'action de la lumière* (Paris, 1931).
5. D. AUGER. — *Rythmicité des courants d'action cellulaires chez les Animaux et les Végétaux* (Paris, 1936).
6. A. BAINES. — *Studies in Electro-Physiology* (Londres, 1918).
7. R. BARON. — *Cours de Zootechnie* (Alfort, 1893).
8. R. BARON. — *Les Méthodes de reproduction en Zootechnie* (Paris, 1888).
9. BEAUVÉRIE, ROMAN, THOORIS, etc. — *Formes, vie et pensée* (Lyon, 1932).
10. E. BELOT. — *Origine dualiste des Mondes* (Paris, 1924).
11. Cl. BERNARD. — *La Science expérimentale* (Paris, 1878).
12. N. BERNARD. — *Principes de Biologie végétale* (Paris, 1932).
13. N. BERNARD. — *L'Évolution des Plantes* (Paris, 1932).
14. D. BERTHELOT. — *Aspect chimique de la Théorie des Quanta* (Paris, Soc. de Chimie, 1924).
15. BERTHOLLET. — *Statique chimique* (Paris, 1803).
16. G. BOHN. — *La Forme et le Mouvement* (Paris, 1921).
17. G. BOHN. — *La Cellule et les Protozoaires* (Paris, 1934).
18. J. C. BOSE. — *Réactions de la matière vivante et non vivante* (Paris, 1926).
19. J. C. BOSE. — *Électrophysiologie comparée* (Paris, 1927).
20. H. BOUASSE. — *Gyroscopes et Projectiles* (Paris, 1923).
21. H. BOUASSE. — *Tourbillons et Forces acoustiques* (Paris, 1932).
22. A. BOUTARIC. — *Oscillations et Vibrations* (Paris, 1912).
23. A. BRACHET. — *La Vie créatrice de formes* (Paris, 1927).
24. F. BUTAVAND. — *L'Harmonie tourbillonnaire de l'Atome* (Paris, 1914).
25. T. CAHN. — *Les phénomènes biologiques dans le cadre des sciences exactes* (Paris, 1933).
26. A. CARLIER. — *Anatomie philosophique* (Paris, 1883).

27. CAULLERY. — *Le problème de l'Évolution* (Paris, 1930).
28. L. CAYEUX. — *Les Roches sédimentaires de France* (Paris, Mém. Cart. géol. Fr., 1929).
29. M. CHADEFaux. — *Biologie des Champignons* (Paris, 1944).
30. CHAMBAS. — *L'Énergisme* (Paris, 1948).
31. B. DE CHANCOURTOIS. — *Vis tellurique, ou classification hélicoïdale et numérique des corps simples et radicaux* (Paris, 1863).
32. P. CHARBONNIER. — *Balistique extérieure rationnelle* (Paris, 1907).
33. R. CHARPENTIER. — *Importance de l'Eau dans les phénomènes biologiques* (Revue « pH », Paris, Oct. 1934).
34. H. CHIPART. — *Théorie gyrostatique de la Lumière* (Paris, 1904).
35. H. COMBES. — *La Cellule végétale* (Paris, 1927).
36. G. W. CRILE. — *A bipolar theory of living process* (New-York, 1926).
37. L. CUGNIN. — *Structure de l'Atome, tourbillon d'éther* (Sceaux, 1929).
38. A. DALCQ. — *L'Œuf et son dynamisme organisateur* (Paris, 1941).
39. E. DARMOIS. — *Statistique mathématique* (Paris, 1928).
40. E. DARMOIS. — *L'état liquide de la matière* (Paris, 1943).
41. C. DARWIN. — *Origine des Espèces* (Paris, 1880).
42. C. DARWIN. — *De la variation des Animaux et des Plantes* (Paris, 1868).
43. DÉCUGIS. — *Le vieillissement du Monde vivant* (Paris, 1945).
44. M. DUBUISSON. — *Polarisation et dépolarisation cellulaires* (Paris, 1934).
45. DUGÈS. — *Mémoire sur la conformité organique dans l'échelle animale* (Montpellier, 1832).
46. DURAND (de Gros). — *Origines animales de l'Homme* (Paris, 1871).
47. L. EMBERGER. — *Les Plantes fossiles dans leurs rapports avec Végétaux vivants* (Paris, 1944).
48. FAURÉ-FRÉMIET. — *Le Développement* (in *La Biologie animale*, Paris, 1937).
49. H. FAYE. — *Sur l'origine du Monde* (Paris, 1884).
50. FLORKIN. — *L'Évolution biochimique* (Paris, 1944).
51. A. DE GRAMONT. — *Le Quartz piézo-électrique* (Paris, 1935).

52. P. HATT. — *Mouvements morphogénétiques dans le développement des Vertébrés* (Paris, 1935).
53. P. DE HEEN. — *Prodrome de la théorie mécanique de l'Électricité* (Bruxelles, 1903).
54. Ed. HOPPE. — *Histoire de la Physique* (Paris, 1928).
55. C. HENRY. — *Sensation et Énergie* (Paris, 1911).
56. C. HENRY. — *Rayonnement, gravitation, vie* (Paris, 1918) (Inst. gén. Psych.).
57. F. HOUSSAY. — *La Forme et la Vie* (Paris, 1900).
58. A. JARRIN. — *Phénomènes de la vie des Plantes* (Paris, 1928).
59. M. JAVILIER. — *La Chimie des Êtres vivants* (Paris, 1944).
60. A. F. JOFFÉ. — *Isolants électriques et semi-conducteurs* (Paris, 1934).
61. W. KOPACZEWSKI. — *La Catalyse et ses applications* (Paris, 1925).
- 61 bis. W. KOPACZEWSKI. — *Essai de morphogénie* (La Nature, avril 1931).
62. V. KOSTITZIN. — *Biologie mathématique* (Paris, 1937).
63. V. KOSTITZIN. — *Symbiose, Parasitisme, Évolution* (Paris, 1934).
64. LAMARCK. — *Philosophie zoologique* (Paris, 1809).
65. A. LARTIGUE. — *Biodynamique générale* (Paris, 1930).
66. C. LAVILLE. — *Électrodynamique du Muscle* (Paris, 1928).
67. C. LAVILLE. — *Le Cancer, dérangement électrique* (Paris, 1928).
- C. LAVILLE, P. AUBOURG, etc. (Voir : AUBOURG).
68. C. LAVILLE. — *De la notion du pH considérée comme révélatrice de l'intimité des mécanismes vitaux* (Revue « pH », Paris, juillet 1934).
69. C. LAVILLE. — *Oxydations et nutrition* (in *Les Néoplasmes*, Paris, mai 1935).
70. C. LAVILLE. — *Rôle biologique du Magnésium* (in *Les Néoplasmes*, Paris, janvier 1933).
71. C. LAVILLE. — *Un cas particulier de Tératogénèse. Les Cellules primordiales* (Rev. de Path. comp., juillet-août 1947).
- 71 bis. C. LAVILLE. — *Naissance de la forme en Mécanique, en physique et en Biologie* (Rev. de Morphophysologie, n° 4, décembre 1949).
72. LECLERC DU SABLON. — *Les incertitudes de la Biologie* (Paris, 1928).

73. S. LEDUC. — *La Biologie synthétique* (Paris, 1912).
74. LEHMANN. — *Lignes de force dans l'air* (in *Lumière Électr.*, Paris, nos 43, 44, 45, 1909).
75. A. LUMIÈRE. — *Colloïdes et Micelloïdes* (Paris, 1938).
76. A. LUMIÈRE. — *Le Mythe des Symbiotes* (Paris, 1919).
77. J. MAREY. — *Les Méthodes Graphiques dans les Sciences expérimentales* (Paris, s. d.).
78. E. MONOD-HERZEN. — *Principes de Morphologie générale* (Paris, 1927).
79. F. MOREAU. — *La Symbiose lichénique* (in *Symbiose et Parasitisme*, Paris, 1937).
80. A. MORIN. — *Le Métabolisme cellulaire est-il électrochimique?* (Paris, 1931.)
81. P. NORDIN. — *Le mécanisme de la cicatrisation cutanée* (Bois-Colombes, 1935).
82. E. OEHMICHEN. — *La sécurité aérienne : animaux et machines* (Paris, 1938).
83. E. OEHMICHEN. — *Propulseurs et amortisseurs de choc chez les animaux* (Paris, 1938).
84. OKEN. — *Système de Philosophie de la Nature* (Paris, 1834).
85. OKEN. — *Esquisse du système d'Anatomie* (Paris, 1821).
86. OWEN. — *Principes d'Ostéologie comparée* (Paris, 1855).
87. PÉLADAN. — *Anatomie homologique* (Paris, 1885).
88. M. PÉTROVITCH. — *La mécanique des phénomènes fondée sur les analogies* (Paris, 1906).
89. A. POLICARD. — *Précis d'Histologie physiologique* (Paris, 1934).
90. J. PONSINET. — *Principes de l'Électrochimie* (Paris, 1927).
91. PORTIER. — *Les Symbiotes* (Paris, 1918).
92. A. RATTIER. — *Les grands Problèmes* (Paris, 1945).
93. L. RENARD. — *La déformation des métaux* (*La Nature*, 1^{er} semestre 1895).
94. L. ROULE. — *L'Embryologie comparée* (Paris, 1894).
95. SAINTE-LAGUË. — *Probabilités et Morphologie* (Paris, 1932).
96. A. SCALA. — *Comportement de l'eau chez les Êtres vivants* (*Revue « pH »* nos 1 à 8, avril 1934 à Nov. 1935).
97. DE SERRES. — *Précis d'Anatomie transcendante* (Paris, 1842).
98. H. SPENCER. — *Principes de Biologie* (Paris, 1877).
99. E. TAYLOR JONES. — *Energie mutuelle dans les systèmes de particules vibrantes et suggestions concernant l'énergie électrostatique* (*Phil. Mag.* Février 1936).

100. G. TESSIER. — *Disharmonies et discontinuités dans la croissance* (Paris, 1934).
101. E. L. TROUVELOT. — *Photographie appliquée à l'étude de l'étincelle électrique* (*La Nature*, 2^e Semestre 1889).
102. J. VARIN D'ANVILLE. — *Origine tourbillonnaire de l'Atome* (Paris, 1924).
103. C. L. WEYHER. — *Sur les Tourbillons* (Paris, 1887).
104. WHITEHEAD. — *Diélectriques et Isolants* (Paris, 1928).
105. P. WURMSER. — *Electroactivité dans la chimie des Cellules* (Paris, 1935).
106. F. WARRAIN. — *L'Espace* (Paris, 1907).
107. WRONSKY. — *Loi téléologique du Hasard* (Paris, 1812).
108. ZAEPPFEL. — *Le Foie, tampon physiologique* (Flers, 1940).

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	Pages
<i>Avertissement de la deuxième édition.....</i>	V
	VIII

PREMIÈRE PARTIE

AINSI VA LE MONDE...

CHAPITRE PREMIER

Biologie et Mathématiques.

La Mathématique, moyen de recherche et d'expression.....	1
Mathématique analogique.....	3
Mutations géométriques.....	5

CHAPITRE II

Une courbe universelle.

Forme exponentielle et forme statistique.....	9
Aspects divers.....	11

CHAPITRE III

Philosophie des Mécanismes.

Le facteur temps.....	18
Le temps détermine la qualité.....	20
Mécanique.....	22
Statique. Cinématique. Dynamique.....	23
Énergie potentielle. Énergie cinétique. Translation et rotation.....	24
Dégradation d'énergie et trace.....	27
La forme, émanation de l'énergie.....	28
Utilité des résistances passives.....	29
La vitesse de régime. La loi de l'optimum.....	33
Principe du moindre effort.....	35

TABLE DES MATIÈRES

261

Pages.

CHAPITRE IV

Rythmes.

Continuité. Discontinuité. Intermittence.....	36
Économie de l'intermittent.....	38
Oscillations. Vibrations. Résonance. Amortissement. Relaxation.....	42

CHAPITRE V

Mouvements tourbillonnaires.

Brachystochrones et tourbillons.....	45
Le mouvement hélicoïdal.....	48
Des mouvements tourbillonnaires.....	51
Mouvements libres. Mouvements contraints.....	56
Le gyrostat, tourbillon non émancipé.....	59
Équilibrage dynamique.....	61

CHAPITRE VI

La féerie des formes.

Champs de force. Spécificité des trajectoires.....	63
Lignes de force. Clivage.....	69
Décomposition et recombinaison des mouvements tourbillonnaires.....	70
Balistique et morphologie.....	74
Approximations successives.....	78
Systèmes-tampons.....	79

CHAPITRE VII

La matière.

L'atome de Bohr n'est pas viable.....	81
Bipolarité.....	85
Morphologie chimique.....	87

CHAPITRE VIII

L'évolution chimique.

De la Nébuleuse à l'atome d'Uranium.....	91
Spécificité atomique.....	96
Vieillessement, condensation, cristallisation.....	98

CHAPITRE IX

Le rôle de l'eau.

L'eau.....	100
L'eau liée.....	103

	Pages.
Un mécanisme général.....	104
La notion du pH en Biologie.....	105
Une loi méconnue.....	111
Rôle mécanique de l'eau.....	112

CHAPITRE X

Biophysique.

Un « no man's land ».....	113
Elasticité et plasticité.....	114
Osmose. Electro-osmose.....	117
Catalyse.....	118
Les processus électriques chez le vivant.....	118
Électricité et mouvements tourbillonnaires.....	121
Étincelles.....	122
Electrophorèse.....	123

DEUXIÈME PARTIE

LE VASTE DOMAINE DE LA BIOLOGIE

CHAPITRE XI

Objet de la Biologie.

Qu'est-ce que la vie?.....	125
Le vivant et l'inerte.....	127

CHAPITRE XII

Les aspects changeants de la vie.

Aspects de la vie.....	132
La vie exponentielle.....	134
La vie explosive.....	134
La vie statistique.....	135

CHAPITRE XIII

Résonance et Vie.

La vie, phénomène de résonance.....	142
La vie, oscillation amorti.....	144

CHAPITRE XIV

Mécanisme vital.

Le dispositif omnivibrateur.....	146
Métabolisme. Envahissement. Individuation.....	147

CHAPITRE XV

L'empreinte tourbillonnaire sur le vivant.

Vie et dissymétrie.....	149
Les champs tourbillonnaires et leurs aspects.....	152
L'empreinte vue à l'échelle humaine.....	159

CHAPITRE XVI

Origine de la vie.

Le mécanisme essentiel.....	166
Naissance de la vie.....	166
Le quartz piézo-électrique.....	167
Essais préliminaires.....	169
Sur les conditions primitives de la vie.....	170
Protides.....	173
Les virus sont-ils vivants.....	174
Systèmes ouverts et systèmes clos.....	176

CHAPITRE XVII

La vie cellulaire.

L'organisation tripartite.....	178
La cellule.....	179
Noyau, cytoplasme, membrane, prolongements cellulaires.....	181
Limite de croissance.....	186
La force du nombre.....	187
Étalement dans le temps.....	189
Algues et Champignons. Autotrophie et Hétérotrophie.....	190

CHAPITRE XVIII

Organisation progressive de la vie.

L'affrontement des éléments vivants.....	198
Symbioses.....	199
Un système réciproque.....	201
Polarité animale et polarité végétale.....	203
L'œuf symbiotique.....	205
Infestation, infection, immunité.....	206
Approximations successives.....	207

CHAPITRE XIX

Voies et moyens de la vie.

Unicité des organisations naturelles.....	210
La vie à son point de départ.....	211

	Pages
Croissance et multiplication. Différenciation.....	213
Loi de conjonction-disjonction.....	214
Subordination des parties au « tout ».....	217
Réglages différentiels.....	218
Récupération des déchets.....	220

CHAPITRE XX

Fonctions et appareils de la vie.

Forme et fonction.....	223
Automatisme d'édification.....	224
Classement des fonctions.....	226
Nutrition. Appareil digestif.....	227
Respiration.....	229
Homologie entre sensation et nutrition.....	230
Universalité de l'appareil cilié.....	231
Arborisations animales.....	233
Le « circuit fermé » des excréments.....	235
Théorie physique de la conscience.....	237
Rétablissement d'équilibre.....	240
Vie autonome. Vie parasitaire.....	242
Double face des phénomènes biologiques.....	243

CHAPITRE XX

Conclusion 247

Bibliographie.....	255
Table des matières.....	260