

LA BIOLOGIE SYNTHÉTIQUE

Stéphane Leduc

Éditeur : A. Poinat

When the page presenting the **Report and conclusions of the US-EU Workshop on Synthetic Biology and Synthetic Genomes**

Airlie House, April 24-25 (2006)

was created by [Antoine Danchin](#), a pdf of Stéphane Leduc's book on Synthetic Biology was available on the WWW. A year later, for reasons that I do not understand, not only did the pdf disappear but it could not be retrieved from standard caches. Using deep exploration of the Internet I succeeded in collecting a pdf copy of the text, which is now present *via* a link at this page:

<https://www.normalesup.org/~adanchin/science/synbio.html>

ÉTUDES DE BIOPHYSIQUE

LA BIOLOGIE SYNTHÉTIQUE

PAR

STÉPHANE LEDUC

PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

AVEC 118 FIGURES DANS LE TEXTE



A. POINAT, ÉDITEUR
121, BOULEVARD SAINT-MICHEL, 4 PARIS
1912

[SOMMAIRE](#)

[RETOUR](#)

SOMMAIRE

LA BIOLOGIE SYNTHÉTIQUE

-  [PHYSICISME ET MYSTICISME](#)
-  [LES METHODES EN BIOLOGIE](#)
-  [LES LOIS GENERALES DE LA VIE](#)
-  [LES CENTRES DYNAMIQUES EN BIOLOGIE](#)
-  [SYNTHÈSE DE LA CELLULE OU CYTOGÉNIE](#)
-  [SYNTHÈSE DES STRUCTURES OU HISTOGÉNIE](#)
-  [SYNTHÈSE DES FORMES GÉNÉRALES OU MORPHOGÉNIE](#)
-  [LA STRUCTURE DYNAMIQUE ET LA MORPHOLOGIE GÉNÉRALE](#)
-  [PHYSIOLOGIE DE LA NUTRITION, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ORGANISATION](#)
-  [PHYSIOGÉNIE DE LA CIRCULATION](#)
-  [PHYSIOGÉNIE DE LA MULTIPLICATION : KARYOKINÈSE](#)
-  [PHYSIOGÉNIE DE LA MULTIPLICATION : SEGMENTATION](#)
-  [BIOÉNERGÉTIQUE](#)
-  [PHYSIOGÉNIE DE LA SENSIBILITÉ](#)
-  [GEOGÉNIE, BIOGÉNIE](#)
-  [PHYSICISME ET PSYCHOLOGIE](#)

[RETOUR](#)

PHYSICISME ET MYSTICISME

Les résultats atteints dans l'étude de la vie paraissent avec raison très minimes à beaucoup d'esprits éclairés qui les considèrent comme hors de toute proportion avec le travail et les efforts consacrés à cette étude ; ils trouvent que la biologie n'a pas fait de progrès comparables à ceux des sciences physiques. Dans son Allgemeine Physiologie, M. Max Verworn s'écrie : "Existe-t-il donc des limites à notre connaissance de la vie ? Et alors où sont ces limites ? Ou bien sommes-nous dans une fausse voie ? Posons-nous mal nos questions à la nature, que nous ne comprenons pas ses réponses?"

Il est facile d'apercevoir un certain nombre des raisons qui s'opposent aux progrès de la biologie et stérilisent les innombrables et immenses efforts faits par l'esprit humain pour arriver à la compréhension de la vie. Rien n'est plus utile que de signaler ces raisons, de les préciser, de les mettre en évidence, car elles sont les obstacles, les barrières, qui s'opposent aux efforts de l'esprit.

Il existe, pour expliquer les phénomènes de la nature, deux méthodes : le Mysticisme et le Physicisme. Le physicisme est la méthode des sciences physiques, le mysticisme règne encore sur la biologie.

A l'origine de la pensée, l'homme attribue aux forces de la nature tout ce qu'il trouve ou croit trouver en lui : un certain degré de liberté, de spontanéité, de direction, de volonté, la bienveillance, la haine, la colère et l'amour. Pour les premiers hommes pensants, tous les phénomènes sont l'expression d'une volonté tendant vers un but, vers une finalité raisonnée et voulue. C'est un anthropomorphisme et un finalisme général, toutes les forces sont des divinités à l'image de l'homme. L'esprit humain, en sortant de sa léthargie profonde, au moment de son réveil, s'abandonne à un rêve poétique. C'était

....." Le temps où le ciel sur la terre
Marchait et respirait en un peuple de dieux. "
.....
.....
" Ah! que nous sommes loin de ces temps de merveilles !
Les ondes, les rochers, les vents n'ont plus d'oreilles ! "

L'homme remplace de plus en plus les invocations aux dieux par des efforts raisonnés. Presque seuls, les biologistes et les médecins invoquent encore les forces mystérieuses. Le vieil anthropomorphisme, le finalisme, le merveilleux, le métaphysique, l'extra et l'ultra scientifique ont persisté, dans les sciences biologiques, sous des formes et à des degrés divers. On y admet l'existence d'un principe indépendant de la matière, ou d'une force vitale spéciale à la vie, le finalisme s'y rencontre partout. L'éducation à cet égard est telle que, même les ouvrages qui proclament la nature physico-chimique de la vie sont parsemés d'interprétations vitalistes et d'explications finalistes. Les phénomènes de la vie sont considérés avec une véritable superstition ; c'est un sacrilège que de chercher à les interpréter, et en leur appliquant les méthodes du physicisme on soulève les plus violentes oppositions.

La médecine contemporaine est imprégnée de mysticisme, mais, pour l'apercevoir, il faut la contempler d'un point de vue placé en dehors de l'ambiance. Comme dans les Mille et une nuits, les mots y ont une puissance magique. Il y a peu de temps, le mot, non pas Sésame, mais sérum ouvrait les portes de la guérison et conférait à toute substance une action curative, un médicament ne pouvait guérir que s'il s'appelait : sérum. On avait les sérums naturels, artificiels, marins, secs, etc. L'eau salée, appelée sérum, acquérait par ce fait une particulière efficacité. Aujourd'hui la magie du mot sérum diminue ; pour guérir, un médicament doit être colloïdal !

Le finalisme domine la physiologie : par exemple, la physiologie contemporaine voit dans la forme et la structure d'un organe un arrangement pour l'accomplissement de la fonction, et cette interprétation vitaliste et anthropomorphique, puisqu'elle implique une volonté directrice, lui suffit ; tandis que le physicisme conduit à voir, dans la forme et dans la structure d'un organe, l'expression des forces qui ont animé et dirigé la matière pour engendrer ces formes, pour produire ces structures ; comme des empreintes observées sur le sol, le chasseur déduit le passage d'un gibier, sa nature, sa direction, son poids, sa vitesse et le moment où il a passé.

Explicitement ou implicitement, la physiologie est dominée par des principes différents de ceux de la nature physique, par des forces mystérieuses telles que la force vitale, par un finalisme tout à fait anthropomorphique, par l'attribution à certains mots (comme colloïde), de puissances inexplicables, se tenant éloignées du physicisme qu'elles excluent, la biologie et la médecine sont privées de l'esprit et des méthodes qui ont fait si merveilleusement progresser les autres sciences.

Invoquer, comme on le fait, contre le physicisme, qu'il ne nous a pas encore donné l'explication de tout, c'est lui reprocher notre propre ignorance ; c'est agir comme un écolier qu'on impute à l'algèbre son impuissance à résoudre les problèmes qu'on lui pose.

Il ne peut y avoir, à l'égard de la vie, que deux opinions entre lesquelles il ne saurait exister aucun intermédiaire ; ou bien la compréhension des phénomènes de la vie est inaccessible, c'est le surnaturel, le mystère impénétrable, et alors la biologie, l'étude de la vie n'a pas sa raison d'être ; proclamer l'incompréhensibilité de la vie et l'étudier est un non-sens. Se livrer à l'étude de la vie, c'est admettre sa nature physique. A quoi pourrait tendre l'étude si ce n'est à arriver à l'interprétation physique des phénomènes. Le mysticisme, le vitalisme, le finalisme ne donnent pas la compréhension des phénomènes ; ils ne révèlent pas, ils masquent l'inconnu. Si, au contraire, les phénomènes de la vie suivent les lois générales de la nature, nous pouvons, nous devons les comprendre et les connaître et, pour arriver à l'interprétation physique des phénomènes de la vie, aucun obstacle ne devrait être mis à leur étude, qui devrait admettre toutes les méthodes, toutes les ressources des sciences physiques.

La persistance, si marquée en biologie et en médecine, des vieilles méthodes, des vieilles opinions, des vieilles conceptions, de l'animisme, du vitalisme, du finalisme est un effet de l'inertie mentale, souvent beaucoup plus marquée chez les gens instruits que chez les ignorants. L'ignorant a des opinions mobiles et changeantes ; l'érudit, surtout s'il est investi d'autorité, a des opinions solidement établies, profondément enracinées, inébranlables : la science est ce qu'il sait, ce qu'il ignore est inconnaissable ; il ne procède plus par démonstration mais par affirmation ; la fonction, en même temps que l'autorité, lui a donné l'infailibilité ; il persistera dans une conduite injuste plutôt que de reconnaître une erreur. La plupart des hommes, dès qu'ils sont investis d'autorité, ne marchent plus que dans l'apothéose, et n'apprécient plus que l'odeur de l'encens. C'est cet esprit qui, dans les solennités officielles, se fait ovationner en parlant de la suprématie de la raison et de la science, en exaltant la liberté, l'initiative et l'originalité. Mais il ne faut pas présenter à celui qui proclame ces principes des opinions différentes des siennes, des méthodes dont il n'a jamais entendu parler, des faits qui lui soient inconnus ; le plus souvent, sans examen, vous seriez immédiatement jugé et condamné, sans d'ailleurs qu'une seule voix s'élève en faveur de la liberté de la recherche, tant est rare la conception de la liberté, tant est rare aussi le courage devant le nombre, l'autorité et la puissance. Cet esprit est tout à fait indépendant des doctrines, il se trouve dans tous les temps, dans tous les pays, dans tous les partis, il est inhérent à la nature humaine. C'est cet esprit qui condamna Galilée, c'est lui qui éteignit en France l'œuvre de Lamarck, il n'est aujourd'hui ni moins puissant, ni moins redoutable qu'autrefois ; il n'a plus besoin ni de prison, ni du droit de punir, avec les privilèges que l'autorité lui confère, il peut étouffer les plus importantes découvertes, et faire de celui qu'il condamne un exilé dans son pays.

Les livres contribuent aussi à la conservation des vieilles opinions. Tout dans la nature est contraste, nous n'avons la notion du froid que si nous connaissons le chaud, la notion de lumière que si nous connaissons l'obscurité, il n'y a pas de montée sans descente, la joie est conditionnée par la peine, le bien par le mal, tout a ses qualités et ses défauts qui sont les contrastes opposés aux qualités. Les livres, qui facilitent l'acquisition des connaissances, et répandent l'érudition, tendent aussi à former au même moule toutes les intelligences, à uniformiser la mentalité humaine, à niveler toutes les personnalités, tous les caractères. On évite l'effort, l'observation personnelle, la méditation, le travail de l'esprit ; on puise le savoir dans les livres, on y prend son jugement et ses opinions. C'est surtout à la rareté des livres, à l'enseignement oral, à la méthodique de la pensée, à la culture personnelle par l'observation et la réflexion, en un mot à l'individualisme, écrasé aujourd'hui par les tyrannies majoritaires qui ont remplacé les tyrannies despotiques et oligarchiques, que la culture grecque doit son incomparable supériorité.

On trouve plus d'indépendance d'opinion, plus d'originalité chez les illettrés que chez les érudits, mais pour le reconnaître, il faut, par une respectueuse et bienveillante sympathie, conquérir la confiance et la familiarité de gens susceptibles et méfiants. Une vieille paysanne, ne sachant pas lire, me disait en m'exposant ses idées : "Nous avons l'esprit naturel qui chez nous remplace l'esprit de livre."

C'est l'esprit de livre qui règne aujourd'hui sur la mentalité humaine, le penseur a fait place à l'érudit. L'esprit de livre a créé l'orthodoxie de ce qui est enseigné, condamné et banni l'originalité, nivelé les intelligences et les caractères, il a posé les rails sur lesquels doivent se mouvoir les esprits, si un seul s'en écarte, c'est pour lui une catastrophe, c'est un déraillement

L'enseignement oral, que l'on veut supprimer aujourd'hui, lorsqu'il est bien donné, qu'il est autre chose que la récitation des livres, est supérieur à tous les autres ; il place successivement l'auditeur à des points de vue différents, fait naître l'émotion, provoque l'examen, éveille le jugement. Jamais un livre ne fixera l'attention, n'animerait la pensée comme un bon professeur ; les moyens de démonstration, d'expérience, d'expression, de geste, de mouvement, de vie manquent complètement au livre. L'enseignement oral est au livre ce qu'est l'étude de la vie sur le vivant à l'étude sur le cadavre.

Si je proteste contre l'uniformisation générale, contre le nivellement des esprits et des caractères, ce n'est pas pour en demander la réalisation pour une manière de voir plutôt que pour une autre. Les vieilles formes de l'esprit humain :ont leur charme, elles embellissent la pensée comme les vieux châteaux, les vieux burgs embellissent le paysage ; partout l'existence de différences, de contrastes, de couleurs, de nuances, de lumière et d'ombre est le conditionnement indispensable de la beauté. Je m'honore d'avoir conquis de bonnes et solides amitiés parmi les hommes les plus attachés aux vieilles croyances, et c'est avec un très vif et très sympathique intérêt que je contemple leur mentalité, mais il n'est pas plus admissible de nous imposer la pensée archaïque que des ruines pour demeure.

L'observation nous montre que partout les forces et les lois de la nature s'exercent avec une régularité absolue, excluant tout arbitraire, tout choix, toute intention, tout but raisonné et voulu, tout finalisme. La notion de l'universalité et de la régularité des lois de la nature est la base même de la science, elle domine, comme les autres sciences, la biologie et la médecine ; partout, dans les sciences de la nature, la condition du progrès est le remplacement du mysticisme par le physicisme.

LES METHODES EN BIOLOGIE

De même qu'en pays inconnu on ne peut se diriger utilement qu'à la condition d'avoir un principe directeur: les astres, la boussole, dont les indications sont unies à notre direction par des rapports mentaux, par une suite de notions déjà acquises, de raisonnements et d'idées; de même, dans une science quelconque, on ne peut avancer qu'à la condition d'avoir une théorie directrice, qui inspire et dirige la recherche. Une théorie générale, contenant une part d'erreur, même une grande, favorise le progrès plus que l'absence de toute théorie ; c'est une direction fautive, qui ne conduit pas au but visé, mais qui conduit à un but où l'on aperçoit son erreur; tandis que sans théorie, sans direction, on piétine sur place sans avancer, on tourne indéfiniment, revenant toujours aux mêmes points; par l'absence de direction on est comme enfermé dans un labyrinthe dont on ne peut sortir.

L'absence d'une théorie générale de la vie nuit beaucoup aux progrès de la biologie. Sans un système qui réunisse entre eux, dans un ensemble cohérent et harmonique, les phénomènes présentés par les êtres vivants, la biologie ne peut être qu'un entassement de matériaux, un amoncellement confus attendant l'architecte. Sans doute, les carriers, les manœuvres, les charretiers, tous ceux qui recueillent et accumulent des matériaux ont un rôle important, mais il ne faut pas déprécier les rôles de l'architecte et de l'ingénieur, il ne faut pas répudier les études d'ensemble, l'établissement des dessins et des plans, le travail pour ordonner, disposer les matériaux et réaliser l'édifice.

C'est inspiré par la pensée que rien n'est stérilisant comme l'absence d'une théorie générale que Lamarck entreprit de classer les êtres depuis les plus simples jusqu'aux plus compliqués, et d'édifier la théorie de l'évolution. Si, apercevant la puissance organisatrice des forces physiques, rapprochant cette notion de l'impossibilité de transmettre par l'hérédité les variations acquises, tenant compte de ce que tous les jours, sous nos yeux, les êtres actuels, malgré leur complexité, s'organisent rapidement à partir d'une simple cellule, l'ovule, on venait à admettre que, dans des conditions favorables, les êtres variés auraient pu apparaître et se développer rapidement, et si la théorie de l'évolution par transformation des êtres les uns dans les autres était abandonnée, le transformisme n'en aurait pas moins été un puissant agent de progrès, son passage dans les idées une étape glorieuse pour la science, et ses auteurs, des pionniers et des héros.

Aucune méthode de recherche ne doit être dépréciée, l'étude minutieuse des faits particuliers a une grande importance, mais elle ne doit pas faire rejeter les études générales. Ne serait-ce pas absurde de s'armer les yeux du microscope pour étudier la topographie et la géographie d'un pays ? La vision du myope, qui voit tout très gros et distingue les détails, a ses avantages, mais son champ est extrêmement restreint; le coup d'œil de l'aigle qui embrasse de vastes horizons a bien sa beauté; il est aussi injuste de reprocher à la vision de l'aigle sa superficialité, qu'à celle du myope l'étroitesse de son champ, l'une comme l'autre perçoivent des réalités.

Tous les phénomènes s'enchaînent et se succèdent dans le temps comme des conséquences les uns des autres, ils sont unis dans l'espace par la solidarité des circonstances. Le rôle, le but de la science est de déterminer les rapports qui unissent les phénomènes dans le temps et dans l'espace. Un phénomène est connu scientifiquement lorsqu'on connaît toutes les conditions antérieures et contemporaines qui le déterminent et les conséquences qui en découlent. La science doit chercher les réponses à toutes les questions: Comment ? c'est-à-dire par quel concours de circonstances un phénomène est-il déterminé ? Le premier travail de l'étude consiste à recueillir la notion sensorielle des phénomènes, à les catégoriser, à les classer, c'est le rôle de l'analyse. Enfin, en intervenant pour instituer les conditions, diriger les circonstances à un moment et en un point, on reproduit un phénomène donné, c'est la synthèse.

Suivant l'expression de Lamarck: "les êtres vivants sont des productions de la nature". La vie est un phénomène dont le mécanisme ne peut être que purement physique ; elle est produite par les mêmes forces, régie par les mêmes lois qui agissent sur le monde non vivant. Toutes les sciences ont une évolution analogue, d'abord l'observation seule est employée, on établit l'inventaire des objets dont on s'occupe, on fait des groupes, des espèces, des genres, des règnes. Puis on a recours à l'expérience, on dissèque, on décompose, on sépare les phénomènes pour connaître leur mécanisme, on a recours à la méthode analytique. Quand on est arrivé à connaître le mécanisme physique de la production d'un objet ou d'un phénomène, par exemple d'un cristal, ou d'une combustion, il devient possible, par la mise en jeu et la direction des forces physiques, de reproduire l'objet ou le phénomène, la science est devenue synthétique.

La biologie est une science comme les autres, soumise aux mêmes lois, aux mêmes règles, à la même évolution ; les mêmes méthodes lui sont applicables. Comme les autres sciences, elle doit être successivement descriptive, analytique et synthétique.

Jusqu'à présent la biologie n'a eu recours qu'à l'observation et à l'analyse. L'unique utilisation de l'observation et de l'analyse, l'exclusion de la méthode synthétique, est une des causes qui retardent les progrès de la biologie. La méthode analytique en biologie est paralysée, stérilisée par l'union indissoluble des phénomènes ; si, chez un être vivant, on essaie d'isoler des autres un seul phénomène, le phénomène disparaît, l'animal meurt. Non seulement la méthode synthétique est applicable à la biologie comme aux autres sciences, mais elle semble devoir être la plus féconde, la plus apte à nous révéler les mécanismes physiques des phénomènes de la vie dont l'étude n'est même pas ébauchée. Lorsqu'un phénomène, chez un être vivant, a été observé, et que l'on croit en connaître le mécanisme physique, on doit pouvoir reproduire ce phénomène isolément, en dehors de l'organisme vivant.

Déprécier la méthode par la difficulté apparente du problème n'est pas scientifique. Bien des problèmes actuellement résolus se présentaient autrefois à l'esprit comme des impossibilités : la transmission des télégrammes, la conversation à longues distances, l'automobilisme, l'aviation et beaucoup des réalisations actuelles paraissaient autrefois complètement absurdes. Auguste Comte mentionnait, comme une impossibilité évidente et éternelle, de faire l'analyse chimique des étoiles et, quelques années plus tard, la spectroscopie permettait d'analyser les étoiles plus exactement que nous ne pouvons analyser un œuf.

La biologie synthétique représente une méthode nouvelle, légitime, scientifique; la synthèse appliquée à la biologie est une méthode féconde, inspiratrice de recherches ; le programme consistant à chercher à reproduire, en dehors des êtres vivants, chacun des phénomènes de la vie suggère immédiatement un nombre infini d'expériences, c'est une direction pour l'activité. Les résultats, les faits exposés dans cet ouvrage : la reproduction des cellules artificielles, des structures, des tissus, des formes générales, des fonctions, de la circulation centripète et centrifuge, des mouvements et des figures de la karyokinèse, de la segmentation, des tropismes, tous ces résultats d'expérience et les expériences elles-mêmes seraient sans signification, sans intérêt, dépourvus de sens, si ces recherches n'étaient pas inspirées par l'imitation de la vie. C'est à l'analogie avec ce que l'on observe chez les êtres vivants que ces phénomènes doivent tout leur intérêt. Lorsqu'on est parvenu à reproduire, dans leur ordre régulier, la suite si compliquée de phénomènes, de mouvements, de formes et d'aspects qui constitue la karyokinèse, on a au moins établi que le mécanisme physique par lequel on obtient ce résultat suffit à produire ce phénomène, et qu'il y a présomption que le phénomène naturel, jusque-là mystérieux, est produit d'une façon analogue.

On dit parfois d'un phénomène reproduit physiquement que, par le fait même qu'il est ainsi reproduit, ce n'est pas un phénomène vital. Il faut alors dire que de l'alcool ou du sucre reproduits par synthèse, ne sont pas des substances organiques. A mesure que progresse la synthèse, le domaine de l'organique et du vital s'amoindrirait jusqu'à ce qu'il n'y ait plus rien ni d'organique, ni de vital, c'est-à-dire plus de vie ni d'êtres vivants. En réalité, tout phénomène manifesté par un être vivant est un phénomène vital, et, lorsqu'on est parvenu à le reproduire par les forces physiques, il ne cesse pas pour cela d'être vital, pas plus qu'une substance produite par les êtres vivants ne cesse d'être organique lorsqu'on parvient à la reproduire par synthèse chimique.

C'est la méthode synthétique, la reproduction par les forces physiques des phénomènes biologiques, qui doit contribuer le plus à nous donner la compréhension de la vie. On a de la science actuelle une opinion trop haute, lorsqu'on lit les traités de biologie, de physiologie et de médecine, on ne peut qu'admirer les descriptions et le travail que représentent les observations accumulées ; mais quand, l'esprit imprégné de physicisme, on lit les explications des phénomènes, on ne peut s'empêcher de les trouver souvent naïves. Ce que l'on sait du dynamisme, du cinétisme, des métamorphoses énergétiques dans les solutions en général, vivantes, organiques ou minérales, ce que l'on sait des actions organisatrices, morphogéniques, physiogéniques dans les liquides est insignifiant par rapport à ce qu'il y a à connaître, la moindre recherche expérimentale révèle une quantité de faits nouveaux. Il est vraiment déplorable que cette étude soit entravée par une inconcevable et absurde hostilité, car c'est de la connaissance de cette physique des liquides, de la connaissance des forces agissant dans les solutions organiques, de leurs lois, de leurs effets, que dépendent les progrès de la physiologie et de la médecine.

Jusqu'à présent on n'a guère étudié que la chimie et la morphologie de l'être vivant, et cette dernière seulement au point de vue descriptif, la biophysique existe à peine; si l'on ouvre un traité de physique biologique, on n'y trouve guère que des descriptions de machines, beaucoup ne sont que de simples catalogues de fabricants d'appareils. La véritable physique biologique serait l'étude du dynamisme et du cinétisme de l'être vivant, des métamorphoses énergétiques dont il est le siège, il faut tendre à suivre la matière et l'énergie depuis leur entrée dans l'être vivant jusqu'à leur sortie. Il faut, de l'étude des formes et des structures, déduire les forces qui les ont développées et les modes d'action de ces forces ; il faut déterminer les relations entre les actions chimiques et les forces et les mouvements qui en sont les conséquences nécessaires. C'est un programme nouveau qui ne peut se poursuivre que par l'application à la biologie de la méthode synthétique.

C'est une absurdité de représenter la synthèse biologique comme aspirant à reproduire d'emblée un être vivant très complexe. Comme dans toute œuvre, humaine ou non, on ne peut procéder que progressivement, par la reproduction séparée des phénomènes de la vie, phénomène que l'on s'applique ensuite à associer, à combiner, dans des groupements de plus en plus compliqués. La découverte et la reproduction de la vie ne sauraient être les événements sensationnels que l'on représente, car on doit débiter d'abord par la reproduction des phénomènes vitaux, puis par des êtres très simples, rudimentaires, intermédiaires entre les règnes et dont, par suite, la position est discutable .

Le programme de la biologie synthétique présente déjà de nombreux chapitres: la reproduction de la cellule ou cytogénie; la reproduction des tissus ou histogénie; la reproduction des formes générales ou morphogénie; puis la reproduction des différentes fonctions ou physiogénie de la nutrition, de la circulation, de la multiplication, de la sensibilité; enfin la reproduction des molécules organiques ou chimie synthétique. De tous ces chapitres de biologie synthétique, seule la chimie organique synthétique est constituée, reconnue, admise, les résultats, rapidement obtenus, établissent son importance. Les autres parties de la biologie synthétique, la reproduction des structures, des formes, des fonctions non seulement n'existent pas, mais leur étude n'est pas admise; il est difficile de voir pourquoi. En quoi est-il moins admissible de chercher à faire une cellule que de chercher à faire une molécule ?

LES LOIS GÉNÉRALES DE LA VIE

Les êtres vivants sont formés des mêmes éléments que le monde minéral : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le chlore, le phosphore, le soufre, le calcium, le fer, le sodium, le potassium et beaucoup d'autres éléments du règne minéral que l'on trouve en moindre quantité chez les êtres vivants.

Les combinaisons sous lesquelles les éléments précédents se rencontrent chez les êtres vivants se divisent en quatre groupes principaux: 1° les hydrates de carbone, comprenant les sucres, l'amidon, les féculés, les gommes; ces combinaisons peuvent être considérées comme formées par l'union de carbone et d'eau. Par exemple, les hexoses, glucose, sucre de fruit, que l'on peut considérer comme résultant de l'union de six atomes de carbone à six molécules d'eau; $C^6H^{12}O^6 = C^6(H^2O)^6$; le sucre de canne, de betterave, dont les éléments sont dans la proportion de douze atomes de carbone et onze molécules d'eau $C^{12}H^{22}O^{11} = C^{12}(H^2O)^{11}$; l'amidon, les féculés, polymères de la formule $C^6H^{10}O^5$ ou $[C^6(H^2O)^5]^n$; 2° le second groupe des combinaisons organiques est constitué par les graisses qui sont des éthers de la glycérine, c'est-à-dire des combinaisons d'une molécule de glycérine avec trois molécules d'un acide de la série grasse et élimination d'eau; comme les hydrates de carbone, les graisses ne contiennent que trois éléments, carbone, oxygène, hydrogène; 3° les êtres vivants contiennent tous des albuminoïdes, substances à molécules très grosses, et instables, renfermant en plus du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, du soufre, du phosphore dans les nucléines, du fer dans l'hémoglobine; 4° dans le quatrième groupe, les combinaisons trouvées chez les êtres vivants s'y présentent telles qu'on les rencontre dans le règne minéral. Ce sont les sels, tels que le chlorure de sodium, le phosphate et le carbonate de calcium, l'anhydride carbonique CO^2 , et enfin, la substance que l'on peut appeler fondamentale, le véritable plasma universel, l'eau qui représente à elle seule plus de la moitié en poids de toute la substance vivante.

Les combinaisons chimiques des éléments constituant les êtres vivants ont été appelées organiques, on les avait séparées radicalement du monde minéral, on en avait fait une caractéristique de la vie; on avait fait deux chimies, la chimie minérale, la chimie organique, on avait attribué la formation des combinaisons organiques à une force spéciale, la force vitale. Les combinaisons organiques ne sont nullement inhérentes à la vie; non seulement elles se présentent sans vie, mais il existe une quantité innombrable de combinaisons organiques réalisées sans le concours d'êtres vivants, dans les laboratoires, par synthèse chimique, avec des éléments purement minéraux. Les combinaisons organiques restant à produire par synthèse sont de même ordre que celles dont la synthèse est réalisée. Les corps organiques sont formés par les mêmes forces, en suivant les mêmes lois physicochimiques que les combinaisons minérales. On doit admettre qu'il en est de même pour les substances que l'on n'a pas encore reproduites. Est-ce que l'on invoque des forces spéciales pour la production des roches dont on n'a pas fait la synthèse? Les différences entre les combinaisons chimiques qui forment la substance des êtres vivants et celles des minéraux ne sont que des différences de formules, elles sont de même nature que celles qui séparent les combinaisons minérales entre elles.

Les animaux tirent leur substance surtout du règne végétal, soit directement, soit indirectement par la chair des herbivores; les végétaux se nourrissent de substances minérales, ils s'assimilent et s'incorporent le carbone du gaz carbonique, l'eau, l'azote des nitrates, le phosphore des phosphates, le soufre des sulfates. Le charbon et l'eau forment les sucres, l'amidon, les féculés et les graisses, et contribuent avec l'azote, le soufre, le phosphore, le fer à la formation des matières albuminoïdes. Tous ces éléments, avant d'être absorbés par les plantes, sont dits minéraux, leur assimilation par les végétaux en fait la substance organique et la substance vivante. Les végétaux tirent surtout des agents de synthèse, les animaux et les microbes des agents de décomposition. Cette différence cependant n'est que relative, là, comme partout, il existe des intermédiaires; c'est ainsi que les champignons, comme les animaux, sont dépourvus d'assimilation chlorophyllienne et se nourrissent de matière organique, ils sont cependant, comme les végétaux, des agents de synthèse, et peuvent fabriquer des matières albuminoïdes avec des sels minéraux. Lorsque, par la respiration, la transpiration, et toutes les excréctions, les animaux rejettent de l'eau, éliminent du gaz carbonique, rendent de l'azote, du soufre, du phosphore, que les microbes achèvent de ramener à l'état d'azotates, de sulfates, de phosphates, ces éléments sont revenus à leur état minéral primitif, prêts à recommencer à parcourir le même cycle.

Ainsi toute la substance des êtres vivants vient du règne minéral et y retourne, la matière circule éternellement du minéral au végétal, du végétal à l'animal et au microbe, puis retourne au minéral. La matière qui nous constitue, qui est notre être, notre moi, avant de nous former, a eu les destinées les plus diverses, elle a fait partie d'une foule de corps, d'une foule d'êtres différents et, après nous avoir quitté, elle continuera à passer d'objet en objet, d'être en être. Toute matière pouvant s'incorporer à un être vivant à la vie en soi; à l'état potentiel dans le règne minéral, à l'état actuel chez les êtres vivants.

La science moderne est arrivée à concevoir tous les mouvements de l'univers comme l'expression d'un agent unique que l'on appelle l'énergie; l'énergie se manifeste sous les formes nombreuses et diverses des mouvements sensibles. Tous les phénomènes, tous les mouvements, dans la nature dite vivante, comme dans la nature dite non vivante, sont dus à l'énergie physique. Pour expliquer les manifestations des êtres vivants, on invoque une force spéciale, mystérieuse, mystique, un agent vital, cette opinion est la base de la doctrine vitaliste, aujourd'hui encore assez puissante pour se défendre par tous les abus de l'autorité. Cependant, toutes les fois que l'on est arrivé à déterminer l'une des forces en jeu dans les phénomènes de la vie, c'était une des forces physiques de la nature et à préciser l'apercevoir l'existence d'une force spéciale aux êtres vivants. Nous devons donc légitimement conclure que les phénomènes de la vie résultent de l'action des forces physiques générales, des forces qui règnent sur l'univers, sur le monde vivant, aussi bien que sur le non vivant. Cette conclusion est une direction pour la recherche; en présence d'un phénomène dont le mécanisme nous est inconnu, nous devons chercher à découvrir la nature et à préciser l'action des forces physiques en jeu. Expliquer les phénomènes incompris par l'action des forces mystérieuses, surnaturelles, c'est admettre que ce que l'on ignore est inconnaissable, que la science est bornée à ce que nous savons, c'est fermer la recherche. De même que les êtres vivants sont formés exactement des mêmes substances que le monde minéral la vie est faite des mêmes énergies, des mêmes phénomènes physiques et chimiques que le reste de la nature.

Ce n'est que le mode d'association des phénomènes physiques, leur groupement, leur harmonie, qui constitue la vie. Le problème de la biologie, c'est de comprendre le jeu des forces physiques sur la matière des êtres vivants.

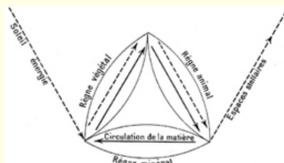


Fig. 1. - Circulation de la matière et circulation de l'énergie dans la nature.

Comme la matière, l'énergie circule dans les êtres vivants où elle ne fait que passer. Les végétaux s'emparent de l'énergie rayonnée par le soleil, la chlorophylle, ou substance verte des plantes, absorbe les rayons rouges et orangés et, à l'aide de leur énergie, réduit, c'est-à-dire désoxyde le gaz carbonique de l'air, fixe le carbone dans les tissus de la plante, et restitue l'oxygène à l'air qui se trouve ainsi constamment purifié par la fonction chlorophyllienne. L'énergie solaire absorbée se retrouve à l'état d'énergie chimique dans la plante qui la restitue sous forme de chaleur lorsqu'on la brûle, ou qui la transmet aux animaux qui se nourrissent de végétaux. Les animaux utilisent ensuite cette énergie d'origine solaire, ils la transforment, et c'est elle qui se manifeste dans tous les phénomènes vitaux. Les végétaux s'emparent de l'énergie solaire et la fixent par désoxydation, par réduction; les animaux libèrent cette énergie par oxydation, par combustion, et la rendent au monde extérieur. L'énergie qui nous anime vient du soleil et, après nous avoir animés reparcourir pour les espaces stellaires sous forme de chaleur rayonnante.

Trois lois physiques générales dominent la nature entière, régissant également les phénomènes de la vie. La première est la loi de la continuité; comme le temps qui incessamment, coule du passé vers le présent, et du présent vers le futur, déroulant la chaîne infinie des jours et des nuits: tout coule, et tout s'enchaîne. Chaque phénomène est la conséquence de phénomènes antérieurs, la cause de phénomènes consécutifs. "Tout coule, disait Héraclite, il y a 2.400 ans, tout est dans un perpétuel courant, rien ne reste semblable à soi-même: seul, le changement est éternel." C'est cette notion de la continuité qui a inspiré à Leibniz et à Newton le calcul infinitésimal, et à Lamarck la doctrine de l'évolution. Toutes nos divisions sont artificielles, toutes nos limites sont conventionnelles. C'est cette absence de tout intervalle, de tout arrêt, cet écoulement ininterrompu du temps et des choses qui inspirait Lamartine lorsqu'il disait:

" Ainsi toujours poussés vers de nouveaux rivages,
Dans la nuit éternelle emportés sans retour,
Ne pourrons-nous jamais sur l'océan des âges,
Jeter l'ancre un seul jour.
Maisje demande en vain quelques instants encore,
Le temps m'échappé et fuit;
Je dis à cette nuit: sois plus lente,
Et l'aurore vient dissiper la nuit."

La biologie ne doit pas perdre de vue cette loi absolue de la continuité. Elle impose l'opinion qu'à l'époque du refroidissement de la terre, les êtres vivants se sont formés des substances minérales par les lois physiques régnant alors. Notre ignorance du mécanisme de cette formation ne saurait prévaloir contre la loi qui doit nous conduire à chercher par l'étude et l'expérience le mécanisme physique de la production des êtres vivants.

Le rôle de la science est de déterminer les relations qui unissent les phénomènes contemporains, passés et futurs; elle permet à l'homme de lire l'avenir et le passé dans le présent; elle est le sommet d'où l'esprit humain contemple le déroulement des choses sur l'étendue de l'espace et du temps.

La seconde loi générale qui régit la vie, comme tous les phénomènes de la nature, est la loi de la conservation de la matière, formulée par Lavoisier: dans toutes les transformations chimiques, les poids des substances engagées restent invariables; la matière est indestructible, incréable, éternelle. Le signe = qui sépare les deux termes de toute équation chimique exprime cette loi de la conservation des poids.

La substance qui nous constitue circule indéfiniment d'objet en objet, d'être en être:

" Elle se dissoudra cette argile légère
Qu'ont émue un instant la joie et la douleur;
Les vents vont disperser cette noble poussière
Qui fut jadis un cœur.

Mais d'autres cœurs naîtront qui renoueront la trame
De nos espoirs brisés, de nos amours éteints,
Perpétuant nos pleurs, nos rêves, notre flamme,
Dans les âges lointains.

Tous les êtres formant une chaîne éternelle,
Se passent en courant le flambeau de l'Amour,
Chacun rapidement prend la torche immortelle
Et la rend à son tour."

Mme Ackermann.

Les transformations de la matière en éther, et de l'éther en matière, que certains phénomènes font entrevoir, ne s'appliquent pas aux phénomènes de la vie. Ce serait aussi d'ailleurs des transformations dans lesquelles la conservation des poids serait remplacée par une autre forme d'équivalence, ce ne pourrait être un anéantissement ou une création.

La troisième loi générale est celle de la conservation de l'énergie. L'énergie est tout ce qui est mouvement, mouvements électroniques, atomiques, moléculaires, mécaniques, toutes ces formes de mouvement sont susceptibles de se chauffer les unes dans les autres, les quantes peuvent donner du travail mécanique, mesurable en kilogrammètres, ou de la chaleur mesurable en calories. Une quantité donnée d'énergie reste invariable à travers toutes ses transformations; l'énergie est indestructible, incréable, éternelle.

Toutes les recherches effectuées établissent que les phénomènes de la vie, comme tous les phénomènes de la nature, sont des transformations ou des déplacements d'énergie, et qu'ils s'accomplissent chez les êtres vivants suivant les mêmes lois de conservation, d'équivalence, que dans le reste de la nature.

Tous les êtres vivants commencent par une forme très simple, l'ovule ou œuf, qui est une simple cellule. Chez la plupart des êtres, la forme originelle évolue, se complique, se développe. La cellule initiale se multiplie, les cellules nouvelles se différencient pour donner les variétés de tissus, elles se groupent pour former les organes, cette évolution constitue l'organisation. Cette multiplication cellulaire, cette croissance, cette organisation, cette évolution de la forme sont les résultantes des actions réciproques du milieu et de la cellule initiale car, pour qu'elles se produisent, les conditions de milieu sont aussi impératives que celle de germe, et toute modification des unes ou des autres influence l'évolution.

Les êtres vivants modifient chimiquement la matière qui circule en eux, ils la rendent dans un état moléculaire différent de celui sous lequel ils l'ont absorbée. Les végétaux transforment la matière minérale en substance organique, ils font des molécules plus complexes que celles qu'ils absorbent. Les animaux et les microbes changent la substance organique en matière minérale, ils rendent des molécules plus simples que celles qu'ils ont absorbées.

Les êtres vivants transforment l'énergie qu'ils reçoivent. Les végétaux transforment l'énergie rayonnante du soleil en énergie chimique par la réduction du gaz carbonique, et la formation des sucres, amidon, féculé, cellulose, substances grasses et albuminoïdes. L'énergie chimique accumulée dans les molécules végétales est transformée par les animaux et rendue par eux au monde extérieur par toutes les manifestations de la vie: travail mécanique, chaleur, lumière, électricité, etc.

Les êtres vivants sont donc des transformateurs de forme, de matière, d'énergie. En réalité, chacune de ces transformations est liée et dépendante des autres; les transformations d'énergie, ou bien de matière, étant fixées, celles de forme le sont par là même et réciproquement. La matière et l'énergie ne font que passer dans l'être vivant dont la substance change incessamment, le caractère le plus permanent de l'être, c'est sa forme; il apparaît, évolue et disparaît avec elle; naître, c'est prendre une forme. C'est par leurs formes que l'on reconnaît les êtres et que l'on les classe. La forme est le caractère essentiel de l'être et la morphogénie devrait être la base même de la biologie.

C'est en vain que l'on a voulu séparer la vie des autres phénomènes de la nature et trouver un phénomène qui en soit une caractéristique absolue. Là, comme partout, règne la continuité, à leur tour les règnes se confondent et l'on hésite pour classer les produits qui s'y trouvent dans le règne animal, végétal, ou minéral.

Les êtres vivants sont formés de liquides, solutions de cristaux, substances cristallisables, et de colloïdes, solides, le squelette. Tous les phénomènes de la vie résultent des contacts, des rapports entre les liquides différents de l'être vivant, entre ceux-ci et les liquides, les gaz, les solides extérieurs. Les aliments, pour être absorbés et éliminés, sont préalablement solubilisés; toutes les cellules des êtres vivants sont baignées par des liquides, la sève chez les plantes, le sang et la lymphe chez les animaux. C'est donc la physico-chimie des liquides qui doit nous éclairer sur les phénomènes de la vie. Cette physicochimie des liquides, qui est la base véritable de la biologie, est à peine commencée, à peine entrevue.

En résumé, les êtres vivants sont formés des mêmes éléments et des mêmes énergies que le reste du monde. Les phénomènes de la vie suivent les lois physiques générales de la nature: la loi de la continuité, celle de la conservation de la matière, celle de la conservation de l'énergie. Les êtres vivants sont des transformateurs de forme, de matière, d'énergie. La vie est un phénomène physique et, comme le dit Mme Ackermann, nous voyons la nature:

" Appelle tour à tour, patiente ou pressée,
A la forme, à la Vie, et même à la seinée
La matière éparse en son sein."

LES CENTRES DYNAMIQUES EN BIOLOGIE

Certains chasseurs tirent des empreintes que laisse le gibier sur le sol les renseignements les plus étendus et les plus précis ; ils disent de quel animal il s'agit, sa direction, son âge approximatif, à quel moment à peu près l'animal a passé. En résumé, de la forme d'une empreinte, le chasseur conclut qu'une force a agi sur le sol, et que cette force est le poids d'un animal d'une espèce déterminée; de la profondeur de l'empreinte et de la résistance du sol, il conjecture le poids et l'âge de l'animal, l'orientation donne la direction de la bête, la netteté des saillies fait savoir si elles sont récentes ou anciennes. Les érosions de montagnes révèlent aux géologues le passage des roches erratiques, des moraines, et l'existence d'anciens glaciers; de la structure des roches ils conjecturent leur formation.

On pourrait ainsi multiplier les exemples dans lesquels l'observation des formes révèle la nature, la direction, la grandeur, l'époque des forces qui les ont produites.

Lire dans les formes et les structures l'histoire des phénomènes dynamiques et cinétiques qui les ont engendrées est une des méthodes les plus fécondes et les plus sûres dont dispose l'esprit humain pour arriver à la compréhension de la nature. Lorsqu'on considère cette méthode, sa valeur et son importance, on ne peut éviter une grande surprise de n'en pas trouver l'utilisation en biologie; cependant, dans le reste de la nature, la matière a été mobilisée suivant certaines directions pour construire l'être vivant, les causes de ces mouvements de la matière sont les forces, dont les directions doivent nous être révélées par les structures et les formes de l'être vivant, comme le passage du gibier est révélé au chasseur par l'empreinte, comme la présence antérieure d'un glacier est marquée par les érosions. Dans la structure stratifiée, cristalline, agglomérée des roches, les géologues lisent le mécanisme de la formation: pourquoi ne lirait-on pas la formation des êtres vivants dans leur structure et dans leur forme?

Pour appliquer à la biologie cette méthode nouvelle, inspiration du physicisme, méthode consistant à lire les phénomènes cinétiques et dynamiques dans les formes et les structures, il faut, par une étude d'ensemble, chercher à reconnaître et à interpréter les formes et les structures les plus générales, les caractères morphologiques communs à tous les êtres vivants. Un coup d'œil, partant de ce point de vue, embrassant l'universalité des formes et des fonctions des êtres, révèle immédiatement un fait fondamental, c'est que toutes les formes, toutes les structures, toutes les fonctions de la vie se présentent comme les expressions, les manifestations de centres dynamiques, c'est-à-dire de centres d'où émanent des forces dont l'action rayonne dans toutes les directions, et s'exerce dans deux sens, centripète et centrifuge.

Ce fut Michael Faraday qui introduisit en magnétisme et en électricité la notion des centres et des champs de force. Cette notion a été et est encore d'une incomparable fécondité. Les champs des forces centrales se représentent graphiquement, soit par les directions de leurs actions, des mouvements qu'elles produisent, directions qui rayonnent du ou vers le centre de force, soit par ces surfaces dites équipotentielles, surfaces concentriques, emboîtées, caractérisées et déterminées parce que, en tous les points d'une de ces surfaces, les forces s'exercent avec la même intensité; ces surfaces sont partout perpendiculaires aux lignes de force.

Cette représentation graphique des centres et des champs de force, ces directions rayonnantes, ces surfaces concentriques et stratifiées, s'observent partout chez les êtres vivants. Cette disposition étant l'expression de centres et de champs de force, il y a lieu d'examiner si les lois dynamiques et cinétiques dont la découverte et l'utilisation a été le point de départ des merveilleux progrès du magnétisme et de l'électricité, sont applicables à la biologie.

Un coup d'œil sur les formes et les structures des êtres vivants nous montre partout la disposition rayonnée ou concentrique. Les formes générales des êtres vivants expriment l'action de centres dynamiques qui auraient présidé à leur formation; partout on y trouve la symétrie autour d'un point, ou les symétries autour d'un axe, qui représente une ligne de points; ou bien les modifications par déformation de ces symétries, telle que la symétrie de part et d'autre d'un plan qui résulte du simple aplatissement d'une forme à symétrie axiale. Souvent les symétries autour d'un point ou d'un axe, en structures rayonnées ou stratifiées, se rencontrent très pures; souvent aussi elles sont combinées.

Les végétaux nous présentent les symétries qui expriment les actions des centres dynamiques: les algues siliceuses, les diatomées, montrent avec une grande perfection les structures rayonnées et concentriques. Sur les coupes perpendiculaires aux axes, des radis, des navets, des troncs d'arbre, on voit les rayons allant du centre à la circonférence, et les circonférences concentriques autour des axes, on dirait, dans ces coupes, que la nature elle-même a dessiné avec perfection les champs de force de Faraday. Les sépales, les pétales, les organes des fleurs, les ovaires, les anthères, souvent même les feuilles ont une disposition rayonnée et concentrique. Les lamelles des champignons sont de véritables rayons lesquels il a bien fallu qu'agissent les forces formatrices. Les épines des fruits épineux, comme celles des châtaignes, semblent des flèches nous montrant les directions divergeant d'un centre suivant lesquelles a été transporté leur substance pour les organiser. Les bulbes, les oignons, les tulipes, puis la fécule et l'amidon, si répandus dans les végétaux, sont formés de surfaces concentriques, véritables réalisations de surfaces équipotentielles.

Parmi les animaux, les êtres inférieurs sont l'expression la plus simple, pour ainsi dire schématique, des forces biogénétiques, ils représentent tous, sous des formes diverses, l'action de centres dynamiques; ces actions sont tellement marquées que, sans même les avoir vues, on les a cependant exprimées par les noms donnés à quelques êtres inférieurs tels que les Actinosphérium. Certains squelettes de radiolaires sont des représentations parfaites de l'action de forces centrales. Tous les animaux rayonnés, astéries, actinies, les oursins nous montrent que les forces centrales et rayonnantes ont présidé à leur formation.

Chez les êtres plus perfectionnés, chez les mollusques, les crustacés, les annelés, les insectes, les vertébrés, on retrouve également les effets des centres dynamiques modifiés par l'antagonisme de forces intérieures ou extérieures. La double direction des côtes et des sillons des coquillages, direction rayonnée et circonférentielle, marque nettement le rôle des centres dynamiques dans leur formation.

Une étude précise poursuivie sur ce point de vue nouveau serait profitable pour la science.

Ce n'est pas seulement dans les formes générales, mais aussi dans les formes élémentaires, dans les détails mêmes des êtres vivants que se trouve exprimée l'action des centres dynamiques. Les sections des fibres, musculaires, nerveuses, des lobules hépatiques, des tubes urinaires, des glandes, des tissus cartilagineux et osseux présentent toutes les dispositions concentriques et rayonnées démontrant l'action des forces centrales. L'unité morphologique de l'être vivant, la cellule, présente partout l'action morphogénétique des centres de forces: toutes les cellules ont un organe central, le noyau, d'où des travées protoplasmiques rayonnent vers la périphérie, enfin les surfaces limitantes, et bien souvent des surfaces stratifiées concentriques, correspondent aux surfaces équipotentielles. Les vésicules adipeuses présentent avec une grande perfection des lignes rayonnées autour d'un centre, attribuées à la séparation de la margarine solide et de l'oléine restée liquide.

Les cellules nous présentent un exemple lumineux de la façon dont les formes engendrées par les centres dynamiques peuvent être modifiées par les circonstances accessoires. Les cellules organiques se présentent le plus souvent avec la forme polyédrique dont la section est un polygone. Or, les actions réciproques des centres dynamiques placés les uns près des autres produisent précisément des masses de polyèdres, semblables à celles qui constituent les tissus vivants. Toutes les autres formes cellulaires sont susceptibles d'interprétations analogues, et ces actions accessoires sur les effets des centres dynamiques montrent comment on peut arriver à l'exploitation mécanique des formes variées présentées par les êtres vivants.

C'est dans la morphologie intérieure de la cellule elle-même, dans le milieu protecteur où ils peuvent s'exercer avec le moins de trouble, là où ils sont le mieux protégés contre les actions extérieures, que les centres dynamiques se manifestent de la façon la plus parfaite, les figures de la karyokinèse, les asters, les fuseaux sont tellement semblables aux représentations que nous obtenons ou que nous figurons des champs magnétiques et électriques que, malgré que l'on ne connaît aucun centre dynamique chez les êtres vivants, ont mentionna immédiatement la ressemblance très grande entre ces figures intra-cellulaires, et les fantômes magnétiques ou les champs électriques; la ressemblance est telle que, pour expliquer les asters et les fuseaux on invoqua, les uns des forces magnétiques, les autres des forces électriques; mais il n'existe pas de substances magnétiques dans les cellules, il n'y a pas de pôles magnétiques isolés, et toutes les interprétations électriques sont complètement hypothétiques. Toutes les théories magnétiques et électriques des phénomènes vitaux sont jusqu'ici plus métaphysiques que physiques.

La physiologie nous montre mieux encore que la morphologie l'action des centres dynamiques dans les phénomènes de la vie. Le phénomène fondamental de la vie, c'est la nutrition cellulaire, subordonnée à l'absorption et à l'élimination; or, c'est le caractère des forces centrales, des centres dynamiques, magnétiques, ou électriques, de provoquer des mouvements centripètes et centrifuges. L'absorption cellulaire, mouvement centripète, l'élimination, mouvement centrifuge, suffisent à caractériser, à établir l'existence de centres dynamiques cellulaires, provoquant, au point de vue mécanique, exactement les mêmes mouvements, les mêmes effets cinétiques que les centres ou pôles magnétiques ou électriques, et à montrer que les phénomènes de la vie suivent les lois physiques des champs de force de Faraday et que les notions acquises dans l'étude de ces champs leur sont applicables.

La cellule vivante est un centre dynamique, les êtres vivants sont constitués par des associations diverses de centres dynamiques. La vie est dans les actions réciproques de ces centres et dans l'action sur eux du monde extérieur. La notion des centres dynamiques éclaire la biologie comme un soleil levant un paysage obscur, il y règne encore bien des obscurités, mais elles n'apparaissent plus que comme des ombres dans un paysage éclairé.

Jusqu'à présent les forces physiques animant la matière chez les êtres vivants restaient tout à fait inconnues. Les uns fermaient la recherche en résolvant le problème par le mystère, en admettant l'existence d'un principe inconnaisable; les autres admettaient que la vie était un phénomène physico-chimique, mais ils étaient impuissants à indiquer la nature et le jeu des forces en action. C'est en vain que l'on chercherait dans les traités de biologie et de physiologie, en vain que l'on chercherait dans tous les ouvrages scientifiques écrits jusqu'à présent, une théorie physique de la vie; on ne saurait admettre comme des théories physiques, celles qui confèrent des propriétés spéciales, propriétés vitales et mystérieuses, à des molécules, à des granulations, bioblastes, biogènes, ou biophores, de pareilles théories ne sont en réalité que des théories vitalistes.

Nous avons aperçu dans les formes, la structure, les fonctions des êtres vivants, les manifestations de centres dynamiques ou de forces polaires; or, on ne connaissait jusqu'ici chez les êtres vivants absolument aucun centre de force, aucune force physique rayonnant d'un point pour produire des mouvements centrifuges et centripètes dans toutes les directions, en suivant les lois des champs de force de Faraday; on ne connaissait, chez les êtres vivants, aucun pôle, aucune action polaire.

Les êtres vivants sont formes de liquides soutenus par des masses gélatiniformes, par des parties solides, séparés ou non par des membranes; les phénomènes de la vie se passent tous dans des liquides et, si la vie est un phénomène physique, c'est la physique des liquides qui doit nous la révéler. Le phénomène élémentaire de la physique des liquides c'est leur mélange, c'est aussi le phénomène élémentaire de la vie. L'enseignement actuel de la physique des liquides est erroné. On représente la diffusion des liquides les uns dans les autres, la propagation des substances dissoutes ou solubles dans leurs solvants, de l'eau dans les solutions, comme s'effectuant par un mélange homogène dont la formation se ferait et se propagerait progressivement, de proche en proche dans la masse; rien n'est plus contraire à la réalité. La rectification de cette erreur est fondamentale. C'est non seulement une réforme de la physique des liquides, mais aussi de la biologie, de la géogénie, et de notre conception de tous les phénomènes naturels qui dépendent de la façon dont les liquides se mélangent. Les substances dissoutes ou solubles se répandent dans les liquides, l'eau dans les solutions, non pas par un mélange homogène de proche en proche, mais par des courants qui, en l'absence d'actions perturbatrices, rayonnent de la substance comme centre dans toutes les directions. Ces courants ont deux sens opposés, centripète et centrifuge. La force qui produit ces courants c'est la pression osmotique.



Fig 2.- Photographie d'une goutte d'eau teintée, pendant sa diffusion dans une solution saline.

Leurs centres d'émission véritables centres dynamiques, ou pôles, sont de deux sortes, centres de pression osmotique plus forte que celle du milieu, ou pôles positifs de diffusion; centres de pression osmotique moins forte ou pôle négatif de diffusion. Autour de ces pôles de diffusion, les phénomènes dynamiques et cinétiques sont les mêmes que ceux dont l'éther est le siège autour des pôles électriques ou magnétiques; ce sont les mêmes lois mécaniques qui les régissent, une molécule se déplace dans un liquide exactement comme un ion dans un champ électrique. Les résultats d'ailleurs sont comparables, superposables. La figure 2 est la photographie d'une goutte d'eau teintée prise pendant sa diffusion dans une solution saline, elle est semblable à la photographie de la décharge autour d'une pointe électrique (voir fig. 55), semblable au fantôme magnétique autour d'un pôle d'aimant; elle est la représentation graphique d'un centre dynamique telle que l'a indiquée Faraday, elle est semblable aux asters dans les cellules vivantes en karyokinèse. Le phénomène est général dans les liquides, la figure 3 est la photographie du fond d'un verre d'eau au centre duquel est un morceau de sucre, les courants ont été photographiés par suite des différences de réfraction.

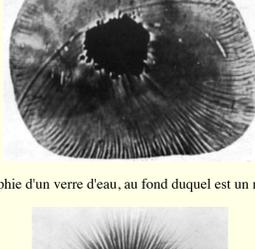


Fig 3.- Photographie d'un verre d'eau, au fond duquel est un morceau de sucre.

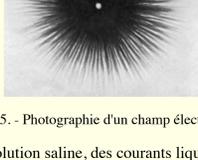


Fig 55. - Photographie d'un champ électrique.

La figure 4 est la photographie, dans une solution saline, des courants liquides autour un point de concentration plus faible et un point de concentration plus forte que celle de la solution.

Dans tous les liquides, et par conséquent dans l'organisme vivant, tout point de concentration plus forte ou plus faible que celle de son milieu est un centre dynamique, siège de forces rayonnantes, centripètes et centrifuges. Du point de concentration plus forte, pôle positif de diffusion, rayonnent des courants de solution diluée centripètes, des courants de solution concentrée centrifuges. Le rayonnement d'un point de concentration plus faible que celle du milieu, pôle négatif de diffusion, est inverse, courants de solution concentrée centripètes, courants de solution diluée centrifuges.

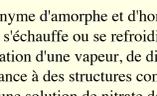


Fig 4.- Photographie de courants liquides, dans une solution saline, entre deux points de concentrations différentes.

L'état liquide, considéré jusqu'ici comme synonyme d'amorphe et d'homogène, est au contraire très différencié; tout point où une solution se dilue ou se concentre, s'échauffe ou se refroidit, tout point de simple contact avec un objet extérieur, tout point d'évaporation, de condensation d'une vapeur, de dissolution d'une substance soluble, devient un centre de courants, ces courants donnent naissance à des structures compliquées. La figure 5 est la photographie d'une structure liquide résultant du mélange d'une solution de nitrate de potassium, avec une solution de phosphate tribasique de potassium. Les liquides sont très transparents; la photographie est obtenue en utilisant les différences de réfraction.

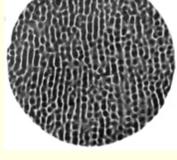


Fig 5.- Structure d'un mélange d'une solution de nitrate de potassium, avec une solution de phosphate tribasique de potassium.

Nous savons maintenant que chez les êtres vivants, partout où il y a une différence de concentration, là est un centre dynamique, et nous l'appelons la nature physique des forces qui émanent de ces centres, c'est la pression osmotique. Quelle lumière pour la biologie dans cette notion nouvelle que nous révèle la nature physique des forces produisant chez les êtres vivants les mouvements que, jusqu'à présent, on a appelé la vie! Les différences et les chutes de concentration, dans les êtres vivants, correspondent exactement aux différences et aux chutes de potentiel en électricité, on peut dire que tout ce qui produit une différence de concentration chez les êtres vivants est une force bio-motrice, analogue à la force électromotrice, c'est une force biomotrice puisqu'elle anime la matière vivante du mouvement qu'on appelle la vie.

La pression osmotique ou pression des substances dissoutes est analogue à la pression des vapeurs et des gaz. Les substances dissoutes se comportent exactement comme les gaz et les vapeurs; toutes les lois découvertes pour les vapeurs et les gaz dont l'application a été si féconde en mécanique sont applicables aux substances dissoutes et, par conséquent, aux êtres vivants qui ne sont que des solutions diverses.

Faraday a représenté par des surfaces concentriques les régions équipotentielles où les forces d'un centre dynamique s'exercent avec la même intensité, nous avons trouvé dans les bulbes des végétaux, dans les grains d'amidon, dans les cellules cartilagineuses, dans le cristallin ces surfaces emboîtées, et nous les avons considérées comme des expressions de centres dynamiques. Les centres dynamiques donnent en réalité ces structures dans les liquides comme le montre la photographie (figure 6) de cercles concentriques produits par la diffusion d'une solution de carbonate de sodium dans une solution gélatineuse contenant des traces de nitrate de calcium.

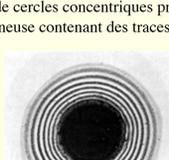


Fig 6.- Cercles concentriques produits par diffusion.

Les êtres vivants sont constamment soumis à des influences qui produisent en eux des différences de pression osmotique et donnent ainsi naissance aux forces biomotrices qui mettent la matière en mouvement dans les liquides qui reconnaît Lamarck dans cette phrase: "Que serait la vie sans les excitations venues de l'extérieur?"

Tout ce qui agit sur nous occasionne des différences de pression osmotique: ingestion de liquides ou d'aliments solubles ou rendus solubles, évaporation et élimination par toutes les voies, clgaleur, froid, lumière, obscurité; comme nous le montrerons à l'étude de la sensibilité, tous les contacts déterminent des différences de pression osmotique. Mais la cause de variation de concentration et de production de différences de pression osmotique la plus importante à étudier est celle qui résulte des actions chimiques, des métamorphoses chimiques des molécules.

Jamais les actions chimiques de l'organisme n'ont été considérées à ce point de vue énergétique, et cependant le rôle osmotique des métamorphoses n'est fondamental en biologie; des différences de concentrations moléculaires, par les effets osmotiques qu'elles déterminent, sont le moteur principal des mouvements biologiques, c'est dans ces actions moléculaires que se trouve la force cytomotrice.

En tout point où se trouvent des molécules complexes se décomposent en molécules plus simples et plus nombreuses, la pression osmotique s'élève et l'on a un pôle positif de diffusion, un cristal en formation, un pôle négatif. Dans les deux cas, le cristal est un centre dynamique ayant autour de lui son champ de force, mais les directions de ces forces sont extrêmement curieuses. La figure 7 est la photographie du champ d'un cristal de chlorure de sodium en voie de formation.



Fig 7.- Champ d'un cristal en formation.

L'étude des centres de cristallisation a un intérêt biologique et pathologique. Nombre de tissus vivants sont en partie formés par des substances cristallisables solides; tissu osseux, coquillages, nacre.

Un cas intermédiaire entre la cristallisation et la formation des tissus est la formation des calculs, ils se produisent autour d'un noyau, véritable centre dynamique, et présentent ordinairement la structure en couches emboîtées représentant des surfaces équipotentielles.

SYNTHÈSE DE LA CELLULE OU CYTOGÉNIE

"En vain contre l'espèce même,
Le temps ou le fleau sévit,
La cellule que l'amour sème,
Mère des formes leur survit,
Génératrice universelle,
Elle contient une humble parcelle,
Du foyer qui luira demain,
Chez, la bête vague étincelle,
Et flambeau sous le front humain."

Sully-Prudhomme.

C'est dans les travaux dés pionniers même de la science, de ceux qui, les premiers, ont élaboré une question, que l'on trouve le plus d'originalité et de vérité. Ceux qui après eux, reprennent le sujet le réduisent à leurs proportions. Ils trouvent, chez l'initiateur, des erreurs, qu'en raison de la science de son temps, ils couvrent d'une bienveillante indulgence qui place immédiatement le commentateur au-dessus de celui dont il s'occupe, les prétendues rectifications ne sont souvent que l'effacement de vérités inaperçues ou inconnues. Tel est le cas pour la cytogénie de Schleiden, 1838, qui est injustement dépréciée. Schleiden compare la naissance des cellules à celle des cristaux, il les fait naître dans le cytoplasma de la cellule mère, autour d'un foyer ou centre d'attraction. Depuis, on a découvert la série des intéressants phénomènes de la karyokinèse, mais c'est bien à tort qu'on veut leur faire effacer la grande part de vérité contenue dans la théorie de Schleiden, les découvertes ultérieures étendent et complètent, mais n'infirment pas sa conception, les cellules se forment bien dans le cytoplasma, autour de centres d'attraction, les centrosomes, comme un cristal se forme autour d'un noyau de cristallisation.

Plus sévèrement encore est qualifiée l'opinion de Schwann, 1839, qui admet la formation cellulaire autour d'un centre dynamique, dans un blastème, en dehors du cytoplasma. Or, nous voyons se former ainsi nos cellules artificielles, et tout porte à supposer que c'est ainsi qu'ont dû se former les premières cellules, les cellules originelles des êtres vivants.

Virchow a écrit: "toute cellule vient d'une cellule". Et depuis la science enseigne: toute cellule vient d'une cellule. L'affirmation de Virchow ne peut cependant être applicable qu'aux conditions qu'il avait lui-même étudiées, c'est-à-dire aux cellules des êtres vivants actuels se développant d'une cellule détachée d'une ancêtre; Virchow n'a jamais cherché comment une cellule pourrait naître autrement que d'une autre cellule. L'affirmation de Virchow ne doit être appliquée que dans les limites de ses investigations, la généraliser est illégitime, c'est une erreur de raisonnement dont la science et la vérité portent les conséquences. On n'a pas démontré qu'une cellule ne peut pas se produire autrement que par une cellule antérieure.

Ce fut l'anglais Robert Hooke qui, vers le milieu du XVII^e siècle, découvrit que les végétaux étaient formés par la réunion de petites cavités closes qu'il appela cellules. Robert Brown découvrit le noyau, Schleiden montra que les cavités des cellules vivantes étaient remplies d'une masse visqueuse à laquelle Mohl donna le nom de protoplasma, enfin Schwann développa la théorie cellulaire qui faisait de la cellule l'unité organique fondamentale de tout être vivant. Pourtant un français, Raspail, avait, avant Schwann, développé la théorie cellulaire, comme d'ailleurs il avait développé la théorie de la nature vivante de la contagion. En 1827, dans son mémoire sur les graisses et sur les tissus adipeux, Raspail écrivait: "Donnez-moi une vésicule organique dans laquelle puisse s'élaborer à mon gré d'autres vésicules; je vous rendrai le monde organisé." Malgré le mérite très grand de la nouveauté et de la vérité, les travaux de Raspail ont été et sont restés dépréciés.

Depuis la découverte des cellules organiques, leur constitution s'est révélée de plus en plus compliquée, on y a décrit non seulement une membrane, un protoplasma, un noyau, un nucléole, mais encore une structure au protoplasma, des granulations ou mitochondries, les centrosomes, les asters et une infinie variété de forme et de constitution. On a successivement attribué aux différentes parties de la cellule le rôle fondamental, caractéristique de la cellule, puis chacune de ces parties a été ensuite dépouillée de son importance et réduite à un rang accessoire, de sorte qu'actuellement, la cellule se trouve sans base anatomique; c'est-à-dire que des cellules vivantes peuvent manquer de l'un quelconque des organes cellulaires.

La cellule n'a guère, jusqu'à présent, été étudiée qu'inerte, morte, solidifiée, fixée, comme on dit en histologie. On ne l'a étudiée qu'à l'état statique, au point de vue morphologique. L'essence de la cellule vivante, c'est pourtant le dynamisme et le cinétisme, la vie est dans les mouvements dont la cellule est le siège, mouvements que les moyens d'étude employés jusqu'ici ont été impuissants à nous faire connaître, tout ce que nous en savons est que les cellules absorbent et qu'elles éliminent; ceci nous révèle déjà que chaque cellule est le siège d'un centre dynamique et ce centre dynamique, provoquant des mouvements centripètes et centrifuges, est, à lui seul, bien plus caractéristique de la cellule vivante, que toutes les particularités morphologiques dont chacune peut manquer, car il n'est pas une cellule vivante sans absorption et sans élimination, pas une cellule vivante sans un centre dynamique.

La cellule éternelle l'unité organique fondamentale, le centre dynamique cellulaire ou force cytomotrice représente l'essence même de la vie cellulaire. Si la nature physique du centre dynamique cellulaire vient à être connue, la vie de la cellule est connue, et celle des êtres polycellulaires devient facile à étudier. Or, le centre dynamique cellulaire est ignoré à ce point qu'on en chercherait en vain, même la mention, dans les traités scientifiques jusqu'ici publiés. Il est évident que le premier problème de la synthèse cellulaire, est la reproduction du centre dynamique, la production de la force cytomotrice. Les centres dynamiques, dans les liquides et les plasmas, peuvent se produire de diverses manières, non seulement par des métamorphoses chimiques comme nous le montrent les cellules vivantes, mais en introduisant dans une solution une simple goutte plus ou moins concentrée que cette solution. Les phénomènes dynamiques, cinétiques et morphologiques sont, dans une très grande étendue, indépendants de la nature des substances employées, et des moyens par lesquels on produit les centres dynamiques; ils dépendent surtout du jeu des forces en action. Sachant produire dans les liquides ces forces polaires dans des conditions analogues à celles où elles naissent et agissent dans les êtres vivants, nous devons observer les mêmes phénomènes, les mêmes mouvements, les mêmes formes résultantes que chez les êtres vivants, c'est en effet ce qui a lieu, et l'étude des cellules dynamiques dans les liquides, de leurs actions réciproques, des effets sur eux des actions extérieures permet de reproduire un grand nombre des manifestations de la vie.

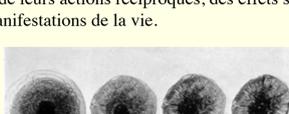


Fig 8. - Quatre périodes consécutives de l'évolution d'une même cellule artificielle.

La figure 8 est la photographie de quatre périodes consécutives de l'évolution d'un centre dynamique dans un plasma artificiel, ce centre dynamique est produit le plus simplement qu'on puisse imaginer, il est formé par une simple goutte d'eau, teintée d'encre de Chine, dans une solution de carbonate et de phosphate tribasique de potassium. C'est un fait remarquable de voir, dans des conditions si simples, cette force centrale, organiser une goutte d'eau, et lui donner avec une perfection surprenante de détails, l'aspect, la forme, la structure et jusqu'aux principales fonctions de la cellule organique. On voit une fine membrane d'enveloppe, un noyau, et le liquide qui occupe la place du protoplasma en prend aussi la structure et montre les travées et les lacunes protoplasmiques dirigées suivant les lignes des courants osmotiques. La photographie présente d'ailleurs le phénomène mieux que ne peut le faire la description. La cellule ronde, turgescente, est la plus jeune, et l'on voit qu'à mesure que la cellule artificielle vieillit, elle se rétracte et se flétrit.

En variant les gouttes, les solutions et les concentrations, on obtient une très grande variété d'aspects. La photographie (figure 9) nous montre en A une cellule artificielle produite par une goutte d'une solution de phosphate triammonique, teintée d'encre de Chine, dans une solution de carbonate et de phosphate tribasique de sodium; le noyau est gros, les analogues des travées protoplasmiques et de la membrane d'enveloppe sont épais; la figure médiane B est un aster artificiel produit par une goutte d'eau teintée d'encre de Chine dans une solution de nitrate de potassium. Enfin, la troisième photographie (C) de la même figure montre les analogues dans la cellule artificielle, des granulations d'Altman ou mitochondries.

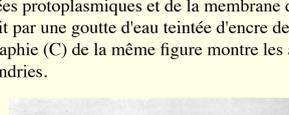


Fig 9. - A) Photographie d'une cellule artificielle avec travées protoplasmiques - B) Aster artificiel - C) Cellule artificielle avec granulations intérieures.

La première expérience de cytologie expérimentale sur une cellule artificielle est celle de l'abbé Nollet, dans laquelle une vessie, contenant de l'alcool, est plongée dans l'eau, il se produit un double courant, d'eau vers la vessie, d'alcool vers l'extérieur; mais le courant d'eau est bien plus rapide que le courant d'alcool, la vessie augmente de volume et de poids. Cette expérience fut reproduite par Moritz Traube en employant, à la place de la membrane de la vessie, un précipité chimique, il utilisa surtout des gouttes de gélatine qui, dans des solutions de tannin, s'entouraient d'une membrane insoluble de tannate de gélatine. Les mémoires de Moritz Traube ont été réunis en un volume par ses fils.

Dans les expériences décrites ci-dessus, je place une goutte de liquide, teinté d'encre de Chine, dans une solution avec laquelle elle ne donne pas de précipité, l'organisation enregistrée par la photographie est purement chimique, indépendante de toute réaction chimique.

Pour étudier les cellules à membranes précipitées, j'ai utilisé les sels solubles de calcium dans les solutions qui les précipitent. Je n'employais ainsi que des éléments dits minéraux, et précisément ceux dont est formée la substance organique. D'autre part, les membranes précipitées de carbonate et de phosphate tribasique de calcium sont d'une transparence parfaite, et permettent d'étudier les phénomènes qui s'accomplissent à l'intérieur de la cellule. La photographie figure 10 est celle d'une cellule à membrane précipitée de carbonate de calcium produite par un fragment de nitrate de calcium dans une solution de carbonate de sodium. C'est le nitrate de calcium qui, par sa dissolution, produit le centre dynamique qui anime la cellule. La solution de nitrate de calcium, au contact de la solution de carbonate de sodium, s'entoure d'une membrane de carbonate de calcium qui oppose beaucoup moins de résistance au passage de l'eau qu'à celui de la solution de nitrate calcique, le courant d'eau centripète prédomine à travers la membrane, la cellule grossit, et la membrane s'étend tant que continue l'action du centre dynamique.

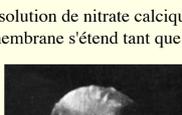


Fig 10. - Cellule artificielle produite par un fragment de nitrate de calcium dans une solution de carbonate de sodium.

Ces cellules de carbonate ou de phosphate de calcium présentent une très grande régularité de forme et d'évolution; elles 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. Par suite de leur développement et d'absorption d'eau il arrive que les cellules artificielles acquièrent un poids spécifique moindre que celui de leur solution de développement, alors elles s'élèvent et flottent dans le liquide.

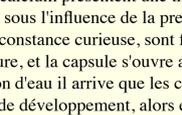


Fig 11. - Cellule artificielle à prolongements ciliaires.

Un grand nombre de cellules organiques, êtres monocellulaires, ou cellules épithéliales d'êtres polycellulaires, présentent de fins prolongements ciliaires; on obtient facilement cette variété en cellules artificielles: la figure 11 est une cellule artificielle avec prolongement ciliaire, obtenue en mettant une goutte d'un mélange de solutions de carbonate de sodium et de phosphate di-sodique dans une solution de chlorure de sodium contenant des traces de chlorure de calcium. La production des cils semble due à ce que l'ion carbonique diffuse plus facilement que l'ion carbonique dans la solution de chlorure de sodium, celle-ci oppose plus de résistance à la diffusion de l'ion carbonique.

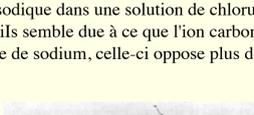


Fig 12. - Cellule artificielle à longs prolongements.

Les variétés de cellules artificielles que l'on peut obtenir sont très nombreuses, toutes rappellent quelques formes organiques. Une variété remarquable de cellules organiques présente, comme les cellules nerveuses, de très longs prolongements. La figure 12, obtenue dans une solution de ferrocyanure de potassium à l'aide d'un granule formé de deux parties de sulfate de cuivre et une partie de sucre, est un exemple de cellule artificielle à longs prolongements.

La figure 13 est une cellule nerveuse ganglionnaire préparée par la méthode de Golgi, par Demoor, donnée pour permettre de contempler les analogues entre la production naturelle et la cellule artificielle.

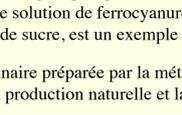


Fig 13. - Cellule nerveuse ganglionnaire.

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

La physique établit une différence entre le mélange des liquides par diffusion et par osmose, elle enseigne que la diffusion se fait dans les colloïdes comme dans l'eau pure; ces deux enseignements, comme celui relatif à la diffusion par propagation d'un mélange homogène, sont contraires à la réalité, et la perpétuation de ces erreurs ont préjudiciable à la science, surtout à la biologie et à la médecine. La diffusion se fait toujours par des courants liquides ayant deux directions opposées, il n'existe aucune différence essentielle, aucune différence qualitative, entre la diffusion et l'osmose, la distinction vient de l'erreur considérant la diffusion comme s'effectuant de la même manière dans tous les milieux. En réalité, chaque milieu oppose à la diffusion d'une même substance des résistances diverses, un même milieu, que ce soit une solution cristalloïde, colloïde, ou une membrane osmotique oppose à la diffusion des diverses substances des résistances très différentes. Depuis plus de douze ans, j'ai multiplié de ces faits les preuves expérimentales dont aucune n'a pu être infirmée, et la physique persiste dans son enseignement contraire aux faits, et la biologie, la physiologie et la médecine s'inspirent toujours d'erreurs qui les stérilisent.

Cette notion de résistance à la diffusion variant d'un milieu à l'autre, et différente pour chaque substance diffusante, est nouvelle dans la science; non seulement on ne trouve aucune trace de son expression explicite, mais on trouve exprimé le fait que la diffusion se fait de la même manière dans tous les milieux. La notion exacte des faits est pourtant essentielle à la biologie. La résistance, variable pour chaque substance diffusante et dans chaque milieu, détermine des changements de composition qui doivent être la raison physique d'un grand nombre des actions chimiques dans les plasmas vivants, ces actions chimiques ont ainsi leur déterminant dans l'énergie osmotique. La notion des résistances diverses à la diffusion simple étendue aux ions leur apporte l'explication des phénomènes électriques observés chez les êtres vivants.

Lorsqu'on se livre aux expériences ci-dessus décrites et enregistrées par la photographie, on observe que l'intérieur des cellules artificielles est incessamment le siège de la plus grande animation, sous l'influence de la pression osmotique, des résistances diverses, de la mise en jeu de la cohésion, les aspects que l'on a sous les yeux varient à chaque instant; ce spectacle mobile et changeant, au point que la vie n'en montre aucun plus animé, donne, avec les descriptions que les histologistes font des cellules, descriptions fixées comme les préparations elles-mêmes, un contraste impressionnant. Ce n'est jamais sans provoquer dans mon auditoire la surprise la plus grande que je projette sur l'écran ce mouvement général, cette évolution, ce changement continu qui se produit dans le sein d'une cellule artificielle. On comprend que les cellules vivantes, qui incessamment absorbent, assimilent, décomposent, éliminent, qui sont modifiées par toutes les actions qui s'exercent sur elles, sont le siège d'un continu mouvement et changement d'aspect; pour les descriptions on s'aurait en fait qu'un contact de leur existence, et, l'on voit, dans les différents moments auxquels elles sont fixées, les raisons de bien des divergences. La science actuelle n'est que celle de la cellule morte, et sans précéder l'étude des cellules en coupes fixées par l'acide osmique ou les autres réactifs, on devrait reconnaître que le procédé de biologie synthétique consistant à mettre les centres dynamiques en action dans les liquides pour observer les mouvements produits, les structures, les formes, les réactions chimiques, auxquels ces centres dynamiques donnent naissance est susceptible d'apporter de la lumière sur les phénomènes dont la cellule vivante est le siège. Par exemple: qu'ont révélé les innombrables travaux par la méthode de fixation publiés sur les asters et les figures de karyokinèse en plus de la simple constatation de leur existence? Rien. Tandis que le mécanisme de la karyokinèse se trouve considérablement éclairé par leur production et leur étude au moyen de centres dynamiques dans des liquides analogues au protoplasma.

Il est évident que ces premières études de biologie synthétique ne peuvent être qu'une esquisse, une ébauche, mais on conçoit facilement comment la détermination physique de toutes les formes, de toutes les variétés, de tous les aspects donnés par les centres dynamiques dans les liquides, comment toutes ces notions reportées et appliquées à l'étude des cellules vivantes est de nature à faciliter, à éclaircir cette étude et à étendre nos connaissances cytologiques, en particulier en ce qui concerne la dynamique et la cinétique cellulaire, c'est-à-dire l'étude des mouvements dont la cellule vivante est le siège.

SYNTHÈSE DES STRUCTURES OU HISTOGÉNIE

La direction des forces physiques dans les liquides permet d'imiter non seulement les cellules organiques, mais aussi les structures des tissus.

On sait que beaucoup de tissus organiques sont constitués par la réunion de cellules polyédriques dont les coupes présentent des sections polygonales. Or, des champs de forces voisins, dans les liquides, donnent, par leurs actions réciproques, un véritable tissu, formé par la réunion de polyèdres, dont les sections sont polygonales. En semant des gouttes teintées, d'eau ou de solution, dans une solution saline, on obtient un tissu liquide de cellules polygonales. En semant simplement, sur une solution à 10 p. 100 de gélatine, des gouttes d'une solution de ferrocyanure à 10 p. 100, on obtient un tissu de cellules polygonales dont le défaut est la trop grande régularité, ce sont des cellules plus que parfaites. Des photographies de ces tissus cellulaires sont insérées dans *Théorie physico-chimique de la vie*. La figure 14 donne les trois préparations produites en semant des gouttes colorées dans des solutions salines: ce sont des tissus entièrement liquides, formés uniquement de sections cristalloïdes. Les photographies montrent bien les sections polygonales des formes polyédriques résultant des actions réciproques des centres dynamiques dont les forces rayonnantes sont nettement exprimées sur deux préparations, les cellules de la troisième, plus vieilles, ont, dans leur intérieur, subi le phénomène de la segmentation que nous étudierons plus loin.

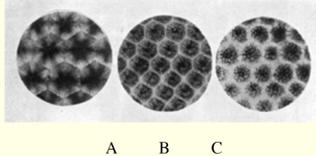


Fig 14. - Tissus cellulaires entièrement liquides, le contenu des cellules C a subi la segmentation.

On m'a dit parfois, croyant présenter une objection péremptoire: les cellules organiques ne peuvent se faire ainsi, qui sèmerait les gouttes? Sans doute, les cellules organiques ne se font pas ainsi; l'analogie n'en a pas moins une grande valeur, et l'expérience qui la donne constitue, très probablement, un pas important vers la connaissance du mécanisme des cellules organiques. Cette expérience nous apprend que des centres dynamiques, agissant dans un liquide, les uns près des autres, donnent un tissu de formes cellulaires polyédriques, chaque cellule présentant non pas seulement l'aspect des cellules des tissus vivants, mais ayant comme elles un double courant, centripète et centrifuge, et beaucoup d'autres analogies moins importantes. Le mécanisme de la production des cellules vivantes se trouve ainsi restreint à cette seule question: Comment, dans les liquides organiques où naissent les cellules nouvelles, comment peuvent se produire, ou comment se produisent les centres dynamiques? Nous trouverons, au chapitre Segmentation, la réponse probable à cette question.

C'est une étude expérimentale, aussi attachante qu'inépuisable, de faire varier les influences qui agissent sur la formation de ces tissus liquides pour observer les résultats de ces variations: on peut altérer les solutions dans leur concentration, leur nature, changer les gouttes qui forment les centres dynamiques, varier leurs positions relatives; on obtient une infinie variété de tissus différents, offrant, avec les tissus vivants, les plus nombreuses et les plus étroites analogies.

La substance des croissances osmotiques n'est jamais homogène, elle présente toujours une structure, il est souvent facile de découvrir qu'elle est formée d'un ensemble de cavités closes, séparées par des membranes contenant un liquide visqueux dans lequel est une masse plus condensée, c'est la structure, dite cellulaire, des êtres vivants. Souvent, dans les croissances osmotiques, la structure est autre, c'est ainsi que dans l'intérieur des cellules de carbonate et de phosphate calcique, on voit se former des centres de condensation dans lesquels la matière devient plus dense et plus opaque; il est évident que ce sont des centres dynamiques de cohésion, la masse est alors formée par des amas colloïdaux, présentant chacun un noyau condensé représentant un centre dynamique; cette structure est celle de la plupart des tissus animaux, c'est celle des masses colloïdales qui remplissent les croissances osmotiques capsulaires et en forme de coquillages.

La segmentation des liquides que nous interprétons par la cohésion, mise en jeu par la diffusion, donne des structures présentant les analogies les plus grandes avec celle des tissus vivants; elle peut donner des tissus formés par des cellules complètes, avec membranes d'enveloppe, ainsi que le montre la microphotographie que nous donnons à la fin de ce chapitre, figure 25 B.

Dans l'intérieur des grosses cellules osmotiques, il arrive que les condensations autour de centres forment de véritables globules mobiles qui sont entraînés dans les courants de la circulation, l'aspect de la circulation dans l'intérieur d'une cellule artificielle présente alors une grande ressemblance avec celui d'une langue ou d'une membrane de grenouille dans laquelle on observe la circulation. C'est également l'entraînement des globules formés par la cohésion qui permet d'observer et d'étudier la circulation dans les tiges osmotiques.



Fig 15. - Tige osmotique fondue en deux au niveau d'un nœud.

Dans le premier volume de biophysique, *Théorie physico-chimique de la vie*, j'ai donné des photographies de la structure des tiges osmotiques. Je donne ici la photographie de l'intérieur des deux moitiés d'une tige fendue au niveau d'un nœud, montrant la structure intérieure et le canal dans lequel se fait la circulation, figure 15.

Les différents organes des productions osmotiques, tiges, feuilles, organes terminaux, présentent une très grande variété de constitution et de structure, la figure 16 est celle d'une feuille osmotique dont les nervures représentent les directions des courants liquides; au chapitre sur la morphologie générale, on verra des feuilles osmotiques construites sur un autre plan et ayant une autre structure.



Fig 15. - Feuille osmotique.

La structure striée, formée de bandes parallèles, alternativement claires et sombres, est très répandue dans les tissus vivants; c'est la structure du muscle, de la nacre et de beaucoup d'autres tissus. Lorsque les stries sont extrêmement fines, de l'ordre du micron, elles font l'effet de ce qu'en physique on appelle un réseau, et, par transparence et par réflexion, elles décomposent la lumière et produisent de belles irisations. C'est à cette structure striée très fine, que sont dues les irisations des perles, des aponévroses, des tendons, des élytres de scarabées, des plumes de paon. Les forces physiques, agissant dans les liquides, permettent de reproduire avec une grande perfection ces structures remarquables, on obtient des stries de l'ordre du micron, présentant tous les phénomènes optiques observés sur les tissus naturels, en particulier les irisations ou décompositions de la lumière par réflexion ou transmission; un chapitre de la *Théorie physico-chimique de la vie* est consacré à l'étude de ces structures: on peut, en particulier, faire la synthèse de la nacre, et obtenir des nacres artificielles qui, pour la beauté et l'éclat, peuvent



Fig 17. - Structure striée produite par diffusion, agrandie 500 fois.

rivaliser avec celles des plus belles perles. La figure 17 est la photographie, agrandie cinq cents fois, d'une de ces structures striées à irisation. La préparation a été obtenue en faisant diffuser, dans une solution de gélatine à 10 p. 100 contenant des traces d'un sel soluble de calcium, un mélange à parties égales de solutions saturées de carbonate de sodium et de phosphate disodique.

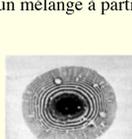


Fig 18. - Structure striée analogue à celle d'un grain d'amidon.

La figure 18 est la photographie d'une de ces préparations reproduisant l'aspect de la structure des grains de fécule et d'amidon. La distance des stries peut révéler la direction du courant de diffusion, elles sont d'autant plus distantes qu'elles sont plus éloignées du centre de diffusion, c'est ainsi que la figure précédente, figure 18, représente une préparation dans laquelle le courant est dirigé de la périphérie vers le centre, tandis que pour la figure 19 le courant allait du centre vers la périphérie; il y a lieu de penser que la connaissance de ces faits est susceptible d'éclairer la physiologie végétale, de donner des indications sur les mouvements de la sève et d'offrir des interprétations des détails de structure observés.

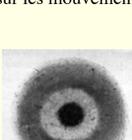


Fig 19. - Structure striée produite par un courant allant du centre à la périphérie.

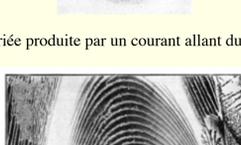


Fig 20. - Structure striée par dessiccation.

Cette structure striée peut se produire par un autre mécanisme physique que celui de la diffusion: savoir par dessiccation et cristallisation ou cohésion. La figure 20 est la photographie d'une structure striée ainsi obtenue. On a d'abord produit du phosphate tricalcique par diffusion d'une solution de phosphate trisodique dans une solution gélatineuse à 4 p. 100 contenant des traces d'un sel soluble de calcium. La préparation se dessèche progressivement à partir des bords, sur la ligne de dessiccation, le sel cristallisé, attirant à lui le sel voisin et épuisant la ligne contiguë dans toute la largeur de sa sphère d'attraction, cette ligne privée de sel reste transparente après la dessiccation. Le phénomène recommence de la même manière dès que la dessiccation atteint de nouveau une partie imprégnée de sel calcique. Il semble que le tissu strié des élytres se forme par un mécanisme analogue.

De simples courants liquides entre points de concentrations différentes donnent des structures, des tissus liquides, formés de longues fibres consistant dans les courants inverses de liquides de compositions différentes: liquide dilué se dirigeant vers le point le plus concentré, liquide concentré se dirigeant vers le point de moindre concentration. La figure 21 est la photographie d'un faisceau de fibres liquides ainsi formé.

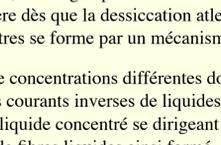


Fig 21. - Faisceau fibrillaire formé par des courants liquides dans une solution saline, entre deux points de concentration différentes.

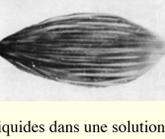


Fig 22. - Photographie montrant la structure d'une membrane tricalcique d'une cellule osmotique.

Les membranes osmotiques elles-mêmes, dont l'épaisseur est telle qu'elles présentent les colorations des lames minces, ont osmotique structure. La figure 22 est la photographie d'une cellule osmotique avec des lames de phosphate tricalcique, à un agrandissement de 10 diamètres, elle montre nettement la structure cellulaire de la membrane dont, d'ailleurs, la figure 23 est une photographie avec un agrandissement de 40 diamètres.

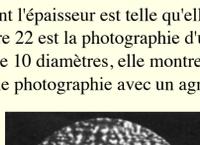


Fig 23. - Même membrane, vue avec un agrandissement linéaire 40.

Lorsqu'on produit du phosphate tricalcique par diffusion d'une solution de phosphate trisodique, dans une solution gélatineuse à 3 ou 4 p. 100, contenant des traces d'un sel soluble de calcium, après dessiccation, la préparation montre des formes étoilées et des circonférences concentriques figure 24, comme en présente le tissu osseux.

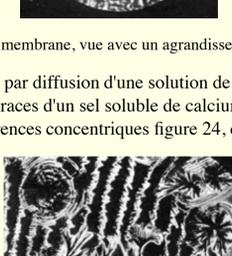


Fig 24. - Structure donnée par le phosphate tricalcique en milieu colloïdal.

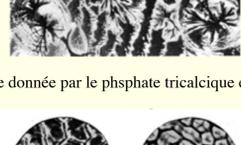


Fig 25. - A) Cellules épithéliales de grenouille.
B) Cellules résultant de la segmentation du contenu d'une cellule artificielle.

Nous étudierons dans un chapitre spécial le phénomène de la segmentation, mais nous présentons ici un tissu cellulaire, produit de la segmentation d'une cellule artificielle et, pour faciliter la comparaison, nous mettons à côté une microphotographie d'épithélium de peau de grenouille (fig. 25).

Les actions physiques, dont nous venons d'étudier les effets, existent dans les liquides des êtres vivants, elles doivent avoir les mêmes conséquences, c'est-à-dire la production de structures comme celles que nous avons observées.

SYNTHÈSE DES FORMES GÉNÉRALES OU MORPHOGÉNIE

La mise en jeu et la direction des forces physiques dans les liquides ne permet pas seulement de reproduire la cellule avec ses formes diverses, son centre dynamique et ses principales fonctions, ainsi que les associations cellulaires qui, chez les êtres vivants, forment les structures et les tissus, mais aussi de reproduire, dans une grande proportion, les formes générales, compliquées et remarquables des êtres vivants, formes que l'homme n'avait jamais pu reproduire jusqu'ici.

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. Le phénomène est donc très général. Lorsque les liquides en contact donnent lieu à un précipité chimique, les formes acquièrent plus de stabilité et cela facilite leur étude. Un grand nombre de substances minérales ou organiques produisent au contact un précipité chimique et permettent d'étudier les effets morphogéniques des forces moléculaires. Certains sels métalliques, les sels alcalino-terreux, de fer, de manganèse, dans les solutions de carbonates, phosphates, silicates alcalins, conviennent à l'étude de la morphogénie. Les sels de calcium, en particulier, se prêtent à cette étude, qui, pour eux, emprunte un intérêt spécial à ce qu'ils sont les principaux constituants du squelette des êtres vivants; ce sont eux, c'est leur organisation qui a la part la plus large dans la morphogénie de l'être. Le support, la charpente, le squelette de presque tous les êtres vivants est fait de sels de calcium: ce sont eux qui contribuent le plus à la forme, à la construction, au modelage de l'être; l'étude de leur développement osmotique et de leurs facultés morphogéniques a donc une grande importance; le fer et le manganèse sont les coloristes de la nature vivante, les sels de calcium lui donnent ses formes les sels de fer et de manganèse la parent de son éclat et de ses nuances, c'est le fer qui donne au sang sa couleur rouge et au teint ses nuances et sa beauté.

L'étude des sels de fer et de manganèse emprunte une autre importance à la facilité avec laquelle ils s'emparent de l'oxygène et l'abandonne; les réductions, désoxydations et les oxydations sont les fonctions principales de la vie; or, ce sont des fonctions des sels de fer et de manganèse dont on constate la présence chez les êtres vivants partout où elles s'exercent; c'est donc l'étude de ces sels qui est susceptible de nous instruire sur les phénomènes fondamentaux de la vie.

Dans *Théorie physico-chimique de la vie*, j'ai publié une étude détaillée du développement et de l'organisation osmotique qui servira de guide à celui qui voudrait reproduire ces expériences que je considère surtout ici au point de vue des résultats morphogéniques.



Fig 26. - Forme d'algue résultant du développement dans une solution de ferro-cyanure de potassium, d'une graine formée de sulfate de cuivre deux parties, sucre une partie.



Fig 27. - Forme d'algue donnée par une graine de sels solubles de calcium et de manganèse, dans une solution de carbonates alcalins dilués.

La figure 26 montre une forme d'algue résultant du développement d'une graine formée de sucre et de sulfate de cuivre, dans une solution étendue de ferrocyanure de potassium; elle a l'intérêt spécial que la graine est photographiée avec ses dimensions initiales qu'elle a conservées, ce qui permet, par la comparaison entre la graine et le reste de la croissance, de se faire une idée du développement.

La figure 27 est également une forme d'algue obtenue, dans une solution d'un carbonate alcalin, avec une graine formée d'un mélange de sels solubles de calcium et de manganèse.

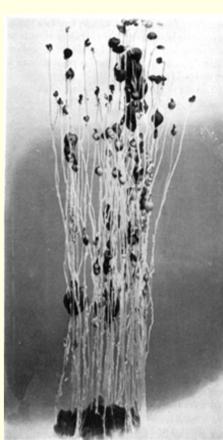


Fig 28. - Productions osmotiques en forme de plante.

La figure 28, obtenue par la croissance et l'organisation de nitrate de manganèse dans une solution de carbonate-phosphate et silicate alcalins, montre que le développement osmotique suffit à donner la forme des plantes à tiges, les organes terminaux surtout sont remarquables par leur organisation, leur complexité et leur étroite ressemblance avec les capsules végétales. Cette croissance se présente aussi avec une très belle variété de couleurs et de nuances: les tiges sont claires et les organes terminaux d'un beau jaune brun. Ces différentes colorations établissent l'existence d'une différente évolution chimique des diverses parties des productions osmotiques; toutes les tiges ont la même couleur, tous les organes terminaux ont la même couleur, il y a là une spécialisation de fonction, une différenciation des parties en organes, une organisation véritable, au sens le plus complet du mot.

L'analogie d'organisation entre les productions osmotiques et les végétaux est très étroite, c'est ainsi que les organes terminaux des croissances artificielles sont généralement constitués par une membrane d'enveloppe, renfermant un liquide pulpeux au milieu duquel s'est formé un noyau. La figure 29 d'une production osmotique, photographiée par la lumière transmise, montre bien cette constitution des organes terminaux, les noyaux se voyant très bien par transparence.

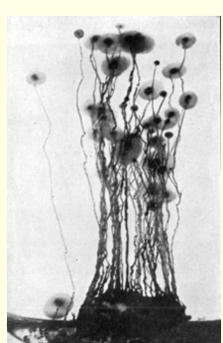


Fig 29. - Croissance osmotique, photographiée par transparence, montrant les noyaux des organes terminaux.



Fig 30. - Croissance osmotique multicolore, tiges vert foncé, feuillage vert clair, organes fructiformes, piriformes et pendants, jaune clair.

Les formes végétales, que peut reproduire artificiellement le développement osmotique, sont aussi nombreuses que variées; la figure 30 est celle d'une croissance contenant un sel de fer, elle est remarquable par sa variété de couleurs, la masse racinaire ou tronc est blanc verdâtre, les tiges variant du vert clair au brun noir, les vrilles et les feuillages sont d'un vert feuille et les organes terminaux piriformes, pendant la pointe en bas, sont jaune d'or.



Fig 31. - Forme osmotique de végétal à feuilles horizontales ou cupules.

La figure 31 montre à quel point l'organisation osmotique peut varier les formes végétales qu'elle produit; nous avons là, au point de vue morphologique général, un végétal complet, des feuilles horizontales, circulaires, creuses en cupules, des tiges et des organes terminaux; cette croissance est obtenue, avec du nitrate de calcium dans une solution complexe de carbonates, phosphates, nitrates, sulfates, manganates, silicates alcalins.

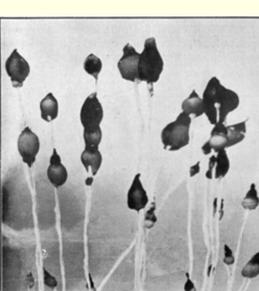


Fig 32. - Croissance osmotique de chlorure et nitrate de manganèse avec capsules terminales présentant un haut degré d'organisation.

La figure 32 est un champ de culture de sel de manganèse: du sol émanant par nuances dégradées varie, de l'équateur aux deux sommets, du terminées par de grosses capsules dont la couleur par nuances dégradées varie, de l'équateur aux deux sommets, du jaune clair au brun noir. Après la dessiccation de la croissance, ces capsules contiennent de petites graines qui gélottent, et que l'on peut faire se développer dans des solutions convenables. Il est facile de se rendre compte du mécanisme physique de la formation de ces graines: dans le contenu pulpeux des capsules, par la mise en jeu de la cohésion sous l'influence d'une diffusion très lente, il se forme des noyaux de condensation, le contenu se segmente, et les grains que l'on trouve dans les capsules sèches sont le résultat de cette segmentation.



Fig 33. - Production osmotique en buisson.

La figure 33, résultat de la croissance et du développement de nitrate de calcium dans une solution complexe, se présente avec des caractères bien différents des précédentes, c'est une forme de buisson à rameaux innombrables, présentant la plus complète intrication.



Fig 34. - Buisson osmotique vert avec organes fructiformes jaune clair.

La figure 34 est la photographie d'une croissance ou buisson d'une graine contenant un sel de fer, les tiges et rameaux sont verts, les organes fructiformes jaune clair.

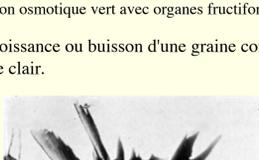


Fig 35. - Croissances osmotiques à larges feuilles évasées.

La figure 35 résulte de la croissance d'une graine fournie de sels de calcium et de manganèse, elle contraste avec les formes précédentes par ses larges feuilles émanant d'un centre en évasement caliciforme, c'est un type très répandu dans le règne végétal; cette croissance est reproduite à peu près au tiers de ses dimensions normales. J'ai obtenu des croissances caliciformes dépassant 30 centimètres de diamètre (fig. 36).

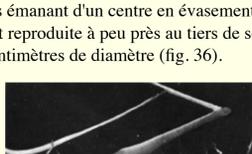


Fig 36. - Production osmotique caliciforme.

Une autre forme végétale bien différente de la précédente est celle de la photographie figure 37, obtenue avec des graines de sucre et sulfate de cuivre dans une solution de ferrocyanure de potassium, chlorure de sodium et sulfite de soude. Elle nous montre des tiges en chapelets cellulaires, et nous donne l'exemple d'un développement analogue à celui des zooglées et des streptocoques.

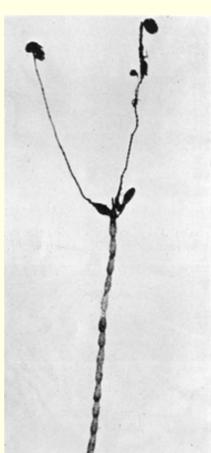


Fig 37. - Végétation osmotique à tige et rameaux cellulaires.

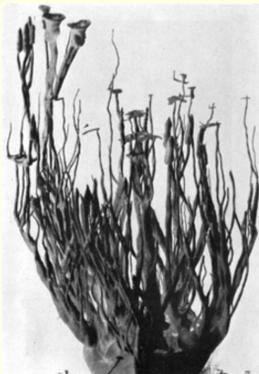


Fig 38. - Végétation osmotique avec organes terminaux en clochettes.

La croissance figure 38 nous montre, avec les ramifications les plus complexes, des organes terminaux en clochettes, comme certaines fleurs, et en cônes.

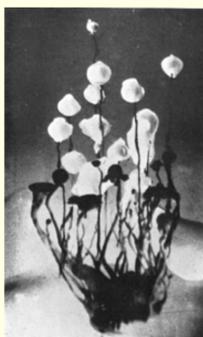


Fig 39. - Organes terminaux blancs.

La figure 39 nous montre un développement osmotique donnant des tiges noires avec de gros organes terminaux très blancs, comme cotonneux.

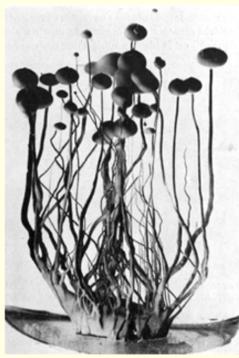


Fig 40. - Végétation de nitrate de calcium avec organes terminaux sphériques.

La figure 40 nous montre une production osmotique d'une grande régularité, avec ses nombreuses tiges fines et magnifiquement ramifiées, portant chacune à différentes hauteurs un bel organe terminal.

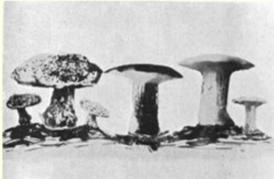


Fig 41. - Champignons osmotiques.

La figure 41 est la photographie d'une champignonnière osmotique montrant, chez les champignons osmotiques, les variétés de forme et de répartition des colorations. Les pieds des champignons osmotiques sont fibreux, les surfaces des chapeaux lisses comme le montrent ceux de droite, ou recouverts de petits pellicules comme le montrent ceux de gauche, la surface inférieure est lamelliforme ou perforée. Cette analogie, avec les champignons naturels, de formes générales, de détails et de structure, mérite au plus haut point l'attention.



Fig 42. - Développement, dans un même milieu, de diverses graines osmotiques.

Si, dans un même milieu de culture on sème des graines diverses, on obtient des croissances très variées, par les formes, l'organisation, la couleur, comme le montre la culture figure 42; on y voit des productions herbacées et grimpantes de couleur vert foncé des tiges jaune clair avec de gros organes terminaux bruns, des tiges blanches très élançées avec organes terminaux coniques.



Fig 43. - Croissance à larges feuilles avec nervures longitudinales.

La figure 43 est la photographie d'une croissance osmotique avec membranes et larges feuilles, présentant de belles nervures longitudinales.

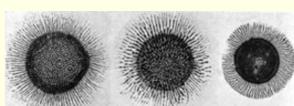


Fig 44. - Productions osmotiques en formes d'actinosphères.

Le passage de la contemplation des formes précédentes à celles de la figure 44 est bien de nature à faire ressortir les facultés morphogéniques des actions des forces physiques dans les liquides et à montrer en même temps qu'elles tendent toujours à donner des formes semblables à celles des êtres vivants.



Fig 45. - Coquillages développés par osmose.

La figure 45 montre comment l'organisation osmotique des sels de calcium peut reproduire les formes de coquillages. Pour être photographiées, ces coquilles ont été vidées de leur contenu, car pendant leur développement et leur croissance elles sont remplies d'une masse organisée gélatiniforme, qui est la masse à l'activité de laquelle la coquille doit son développement et son organisation.



Fig 46. - Diverses formes de capsules formées par osmose.

Dans des conditions peu différentes de celles du développement des coquilles, on obtient des capsules fermées; ces capsules habituellement sont bivalves, et il arrive parfois que la valve supérieure se soulève comme tournant autour d'une charnière ainsi que le font nos coquillages. La figure 46 est la photographie d'une collection de ces capsules osmotiques calcaires.

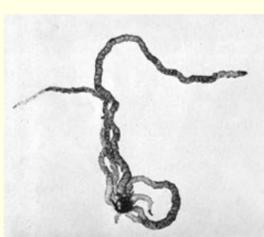


Fig 47. - Croissance vermiforme annelée. La graine initiale, étant restée intacte, donne son rapport de grandeur avec la croissance.

La figure 47 est la photographie d'une longue croissance vermiforme annelée; la figure 48 représente une autre croissance vermiforme.

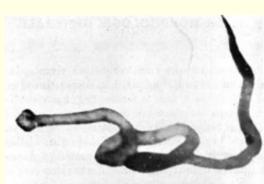


Fig 48. - Un ver osmotique.

On verra plus loin, figure 79, un vase de culture contenant des productions osmotiques, flottantes, la production inférieure est transparente et complètement fermée, les deux supérieures sont des cloches creuses, ce sont des valves supérieures de dérivés capsulaires qui se sont soulevées pour nager dans le liquide. Cette figure montre la complexité de la morphogénie osmotique, circonstance qui le rapproche de celui des formes vivantes et qui exclut toute précision dans les indications que l'on peut donner relativement à ces expériences. Dans cette culture, on peut voir que la même substance, semée dans le même milieu, développée dans les mêmes circonstances, donne des résultats aussi différents que la longue croissance cylindrique, vermiforme, et les courtes croissances à organes terminaux sphériques.

On pourrait indéfiniment multiplier ces exemples des résultats de la morphogénie osmotique. Ceux enregistrés dans ce chapitre me semblent suffisants pour démontrer à quel point ce phénomène de morphogénie osmotique mérite la considération, l'attention et l'intérêt.

LA STRUCTURE DYNAMIQUE ET LA MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

Nous avons vu que l'unité organique vivante, la cellule, est un centre dynamique, dont l'expression se trouve dans sa fonction et dans sa forme. Les êtres vivants sont des réunions, des groupes de centres dynamiques. La vie est l'action réciproque de ces centres, et les actions sur eux des influences extérieures. Le mode d'association, la disposition, la forme des différents centres dynamiques constituant un être vivant, représentent sa structure dynamique, jusqu'ici complètement inaperçue, entièrement ignorée, au point que l'expression elle-même est nouvelle. La considération et l'étude de la structure dynamique est cependant plus importante que celle de la structure statique, seule étudiée. La structure dynamique correspond à la vie, c'est celle de l'être vivant; la structure statique correspond à la mort, c'est celle du cadavre. Rien ne démontre mieux l'importance des points de vue de la manière de considérer les choses que le rapprochement de ces deux structures: celle de la vie; la structure dynamique, celle de la mort, la structure statique. L'étude de la vie n'avance pas; depuis des siècles, les hommes travaillent presque exclusivement à l'étude de la composition chimique et de la structure statique; ils croient étudier la vie, ils n'étudient que la mort. La vie n'est pas où on l'étudie jusqu'ici, dans les préparations immobilisées, coagulées, fixées.

La considération de la structure dynamique est, pour l'esprit, un point de vue nouveau, qui s'applique à toutes choses, à tout objet, à tout être. La structure dynamique d'un objet ou d'un être, c'est la topographie des centres dynamiques et de leurs champs dans l'étendue de cet objet et de cet être. Son importance est bien plus grande que celle de la substance ou de l'état statique seuls étudiés jusqu'ici. Comprimez dans un moule de l'argile, du plâtre, de la cire, de la paraffine, de l'étain ou du plomb, vous en retirerez toujours la même forme, le même objet, les différences résultant des diverses substances ne sont qu'accessoires. Une cuiller ou une fourchette ne sont pas aptes à leurs fonctions parce qu'elles sont en bois, en fer, en argent ou en aluminium, mais parce que des forces ont agi sur leur substance suivant certaines directions; leurs caractères, leurs formes, leurs aptitudes à leurs fonctions, sont les conséquences des actions de ces forces; leur caractéristique est donc beaucoup moins dans leur substance ou dans leur état statique, que dans la topographie de ces forces, c'est-à-dire dans leur structure dynamique.

Pour l'appliquer à la vie, nous avons emprunté au magnétisme et à l'électricité la notion des centres dynamiques, et nous avons appris à connaître les phénomènes dynamiques et cinétiques chez les êtres vivants, en les lisant dans les formes, les structures, les fonctions où ils ont écrit leur histoire.

C'est à l'imitation des phénomènes de la vie, c'est en créant la biologie synthétique, en appliquant ses principes, que nous avons découvert les centres dynamiques dans les liquides. Les lois, les modes de représentation, toutes les connaissances des centres dynamiques obtenues par l'étude du magnétisme et de l'électricité, sont applicables aux centres dynamiques dans les liquides et par conséquent aux êtres vivants et à la vie.

Mais, si les fonctions, les formes, les structures, sont l'expression des mouvements et des forces qui les accomplissent et qui les engendrent, des structures dynamiques analogues doivent donner des formes analogues. Or, la structure dynamique de l'univers présente une grande uniformité; on la retrouve identique dans l'univers sidéral où chaque soleil est un centre dynamique d'où rayonnent des forces centripètes et centrifuges, qui maintiennent les planètes dans leurs orbites, les empêchent de s'envoler dans l'espace ou de tomber sur leurs soleils. Chaque planète est également un centre dynamique à l'égard de ses satellites; chaque pôle électrique ou magnétique est un centre dynamique au sein de l'éther; le cristal en formation ou en dissolution est un centre dynamique; la goutte qui diffuse dans un liquide est un centre dynamique; tout point d'une électrode dans un électrolyte est un centre dynamique; et la vie, dans sa cellule, est également un centre dynamique.

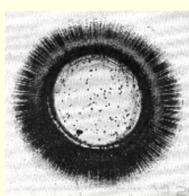


Fig. 49 - Photographie montrant le rayonnement d'une goutte de phosphate alcalin tribasique, dans une solution gélatineuse contenant des traces d'un sel soluble de calcium.

De cette similitude des structures dynamiques découlent une foule d'autres similitudes. Au point de vue qui nous occupe, une goutte, en état de diffusion, est un soleil dans l'espace; comme un soleil, elle rayonne et la photographie figure 49 est, à l'état de soleil rayonnant, une goutte de phosphate alcalin dans une solution gélatineuse contenant des traces de sel de calcium. Les soleils ne sont d'ailleurs que de grosses gouttes de liquide dans l'espace. La goutte de phosphate est photographiée avec un agrandissement de seulement 10 diamètres; photographiée avec un agrandissement de 500 diamètres, on voit qu'elle émet des ondes ayant toutes les propriétés des ondes lumineuses; ces ondes se réfléchissent, se dispersent, se diffractent, interfèrent (voir chapitre: *Périodicité, dans Théorie physico-chimique de la vie*). La figure 50 est la photographie d'une goutte qui, émettant des ondes de longueurs beaucoup plus grandes, montre son émission avec un faible grossissement et dans un champ restreint.

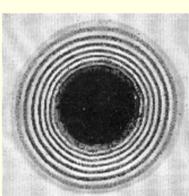


Fig. 50 - Goutte de carbonate alcalin montrant son émission périodique.

La physique se débat entre la théorie de l'émission et celles des ondulations, passant d'une théorie à l'autre, adoptant l'une pour un phénomène, l'autre pour l'autre. Dans la diffusion, les émissions, rayonnées et périodiques, existent simultanément, ce sont deux phénomènes connexes. Il est probable que, lorsque le mécanisme et les relations du rayonnement et de la périodicité seront complètement élucidés pour les liquides, où leur étude expérimentale est relativement facile, ils le seront aussi pour l'éther et pour la lumière.

Le fait que les formes et les structures sont l'expression des mouvements et des forces qui les accomplissent et qui les engendrent et, d'autre part, l'uniformité de structure dynamique de beaucoup de phénomènes de l'univers, donne l'explication physique des admirables et surprenantes analogies de formes observées dans les productions de la nature semblant les plus éloignées, les plus étrangères les unes aux autres.

La cristallisation en milieu colloïdal, comme je l'ai montré dans mes mémoires de 1903-1904, donne une très grande richesse de forme, et en particulier de formes végétales. On peut voir quelques-unes de ces formes au chapitre: Cohésion et Cristallisation, de *Théorie physico-chimique de la vie*. Depuis quelques années, cette question a été très étudiée à l'étranger, et en particulier M. Schenck, en Allemagne, a obtenu de remarquables résultats, exposés dans son ouvrage: *Die Kunstformen der Natur*. M. Lecha Marzo, en Espagne, a étudié à ce point de vue les substances employées pour les préparations microscopiques. Sans étudier la genèse de ces formes, et sans comprendre la raison des similitudes, on les a cependant exprimées par la désignation de "cristaux en feuilles de fougère".

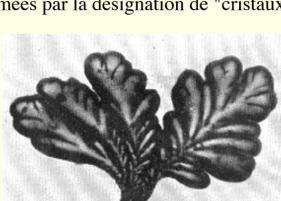


Fig. 51 - Cristallisation en milieu colloïdal.



Fig. 52 - Cristallisation de chlorure d'ammonium dans la gélatine.

Les figures 51, 52, 53 et 54 représentent quelques-unes des nombreuses formes que donne la cristallisation en milieu colloïdal. Les formes engendrées par la cristallisation d'une substance en milieu colloïdal dépendent de la concentration du colloïde, et les figures montrent que chaque forme est caractéristique du colloïde duquel elle émane.



Fig. 53 - Cristallisation de sulfate de cuivre dans la gélatine.



Fig. 54 - Cristallisation du chlorure de sodium dans la gélatine.

Nous avons vu que les actions réciproques des champs de diffusion dans un même liquide produisaient une masse de polyèdres dont la section représentait un tissu de cellules polygonales. Ce résultat est indépendant de la nature des forces rayonnant des centres dynamiques, il ne dépend que des positions relatives de ces centres, et la figure 54 bis est celle d'un champ de cristallisation de chlorure de sodium dans la gélatine, on voit que les actions réciproques des champs de cristallisation donnent un aspect analogue à celui des coupes des tissus cellulaires.



Fig. 54bis - Champ de cristallisation du chlorure de sodium en milieu colloïdal, montrant une apparence analogue aux sections des tissus cellulaires.

Malgré la géniale conception de Faraday, malgré les études dont les phénomènes électriques ont été l'objet, la répartition des actions électriques, les formes de la décharge, la structure des champs électriques sont encore très imparfaitement connues. Je reproduis ici les études que j'ai poursuivies sur ce sujet et les résultats présentés et exposés au Congrès de l'A.F.A.S., Nantes, 1898, et Grenoble, 1904.

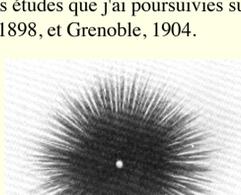


Fig. 55 - Photographie d'un champ électrique.

La figure 55 est la photographie d'un champ électrique; par la méthode que j'ai décrite alors, on voit que la figure est identique avec celle des champs de diffusion, la similitude est grande, au point d'amener la confusion.

[SUITE chapitre 8](#)

[SOMMAIRE](#)

Si l'on produit simultanément, dans le voisinage les uns des autres, des centres ou pôles électriques et que, de la même manière, on photographie leurs champs, on obtient l'image d'un tissu de polygones, semblable à la coupe d'un tissu cellulaire.

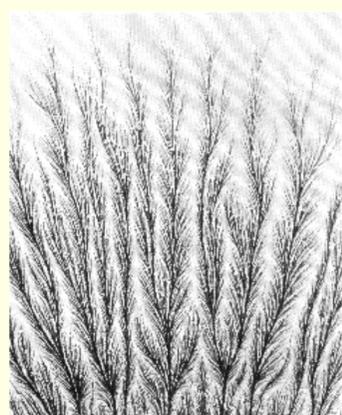


Fig. 56

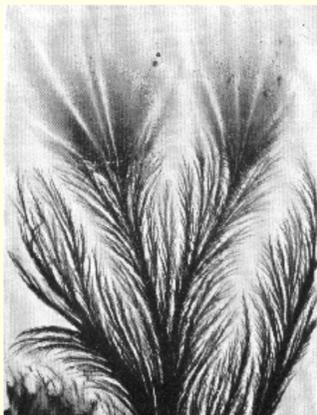


Fig. 57

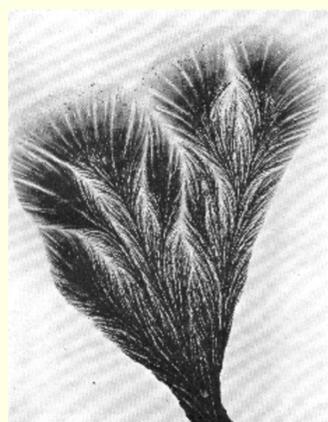


Fig. 58

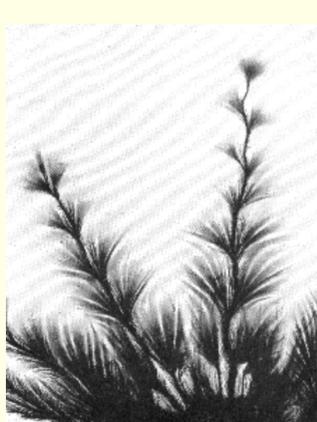


Fig. 59

Photographies d'une décharge électrique.

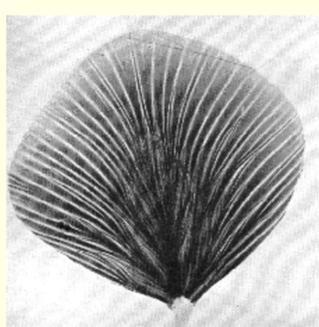


Fig. 60



Fig. 61

Enfin, les photographies de décharges électriques figures 56, 57, 58, 59, 60, 61, permettent aisément de reconnaître, dans la forme du dessin, dans la structure, dans les détails, les mêmes plans, les mêmes lignes de direction que dans les végétaux, dans les tiges, dans les rameaux, dans les feuilles. La seule constatation de cette similitude, jusqu'ici non remarquée, est par elle-même intéressante; mais combien l'est plus sa compréhension. Avec quelle facilité on comprend toutes ces figures, les raisons de leurs formes, de leurs ressemblances, dans la nature vivante, dans la décharge électrique, dans la cristallisation, dans l'osmose, lorsqu'on sait que cette ressemblance est le résultat de l'identité des structures dynamiques, qui, pour donner ces formes, mobilisent et déplacent la matière de la même manière, qui, pour cristalliser en milieu colloïdal, pour faire une étincelle électrique, une croissance osmotique, une plante, une feuille, un être vivant, transportent la substance suivant des directions qui, entre chaque phénomène, sont parallèles, de sorte que les matériaux sont placés et disposés en des constructions analogues, et forment des édifices semblables, à un certain degré superposables. Comment méconnaître la valeur de la méthode consistant à lire et à interpréter le dynamisme et le cinétisme, la topographie des forces et la direction des mouvements, dans les formes et les structures? Comment ne pas voir l'importance de l'application à la biologie de cette méthode qui doit lui apporter tant de lumière? Dans l'organisation des êtres vivants, les forces physiques remplissent le rôle de l'architecte ou de l'ingénieur, et celui des ouvriers, dans la construction d'un édifice ou d'une machine. Ce sont les forces physiques qui déterminent le plan et la forme, et qui transportent les matériaux; et les disposent pour constituer l'être. De même que des édifices semblables peuvent être construits avec des matériaux très divers, pourvu qu'ils soient conçus et exécutés suivant des plans similaires, de même nous voyons les forces physiques nous donner des organisations semblables, avec des substances diverses, lorsqu'elles sont ordonnées, transportées, disposées de la même façon. En contemplant les figures produites par des structures dynamiques semblables, il est aisé de reconnaître que les variétés proviennent moins de la nature des matériaux que des différences dans le dynamisme de la construction, dans les intensités des forces agissantes, dans les résistances qu'elles rencontrent.



Fig. 62

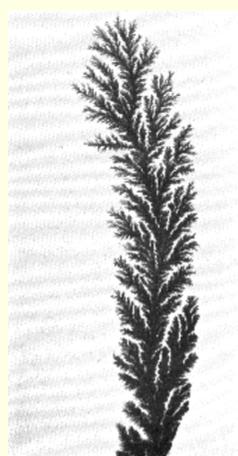


Fig. 63

Photographies de formes électrolytiques.



Fig. 64



Fig. 65

Dans l'électrolyse, chaque point des électrodes est un centre dynamique de forces centripètes et centrifuges, et, par ce seul fait, l'électrolyse devrait donner les formes et les structures des êtres vivants: c'est en effet ce qui a lieu. Si l'on pratique l'électrolyse avec des électrodes punctiformes, on obtient une grande variété de formes remarquables, bien ignorées jusqu'ici, et semblables à celles des végétaux, ainsi que le montrent les photographies figures 62, 63, 64, 65, qui sont des dépôts d'argent sur une cathode punctiforme, dans différentes conditions d'électrolyse du nitrate d'argent.

Rien, *a priori*, ne paraît plus absurde, que de comparer à l'organisation des êtres vivants, la décharge électrique instantanée, la cristallisation, l'électrolyse. Mais si, libéré des idées préconçues qui donnent cette impression d'absurde, on entreprend l'étude comparative de ces phénomènes, on découvre aussitôt un grand nombre d'analogies qui à elles seules méritent l'intérêt. Les analogies de formes sont montrées par les photographies, mais elles sont loin d'être les seules. Le cristal en formation dans un milieu colloïdal, la décharge électrique dans un gaz, le dépôt électrolytique dans un liquide, se nourrissent, puisent dans leurs milieux la substance dont ils se construisent, dont ils édifient leurs formes, exactement comme une plante puise sa nourriture dans l'atmosphère où elle se développe. Dans tous ces cas, le mécanisme du développement présente une analogie remarquable; le cristal initial dans son eau mère, la pointe électrisée dans un gaz, le point électrolytique dans un liquide, l'ovule point de départ de l'être vivant représentent chacun un centre dynamique initial, et le développement se fait par la multiplication de ce centre dynamique; chez l'être vivant, le centre dynamique initial se double par karyokinèse, chacun des deux nouveaux centres se double à son tour et ainsi de suite; lorsqu'un ion se dépose sur une électrode, il devient centre électrolytique à son tour, et le phénomène continue. Dans la décharge électrique, l'électrolyse, la cristallisation, les centres dynamiques se multiplient d'une façon analogue à leur multiplication dans le développement des êtres vivants, c'est pourquoi, dans tous ces cas, le résultat est la production de formes et de structures similaires.

La conception des centres et des structures dynamiques, la connaissance des formes analogues et du mécanisme de leur développement, c'est une voie ouverte et éclairée pour inaugurer l'étude physique du développement et de l'organisation des êtres vivants.

PHYSIOLOGIE DE LA NUTRITION DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ORGANISATION

La physiogénie est l'étude de la genèse, du mécanisme physique des fonctions. L'absence d'une définition précise de la fonction chez l'être vivant est une cause d'obscurité et de confusion. Chez les êtres vivants, comme dans le monde non vivant, lorsqu'un corps agit sur un autre, deux ordres de phénomènes sont à considérer, les uns constituant l'action, les autres la réaction. La fonction c'est la réaction: ce que les physiiciens appellent réaction, les physiologistes l'appellent fonction. Réaction et fonction sont des phénomènes de même ordre, de même nature physique. Considérer ainsi les choses est suivre le précepte de Lamarck qui a écrit: "Pour connaître la vie, il faut étudier les analogies et les différences entre les corps inorganiques et les corps vivants, il faut mettre en parallèle les caractères essentiels entre ces deux sortes de corps."

Jusqu'à présent, les cristaux étaient considérés comme les productions physiques les plus rapprochées des êtres vivants, présentant avec eux le plus d'analogie et tous les traités établissent, entre les êtres vivants et les cristaux, une comparaison que je reproduis pour l'étendre et la compléter. Les cristaux se nourrissent et s'accroissent, ils absorbent leur substance dans leur milieu de développement par une attraction sélective, affectent une forme spécifique, cicatrisent leurs blessures; on a comparé l'action multiplicatrice d'un cristal dans une solution mère à la reproduction des êtres vivants. Les êtres vivants ne constituent s'unir pour la reproduction ou par le greffage qu'à la condition d'avoir une certaine parenté de forme et de constitution, c'est-à-dire de composition chimique; les substances cristallisables ne peuvent s'unir qu'à la condition d'avoir la même forme cristalline, et une parenté de composition chimique. Enfin, les cristaux se forment dans les eaux mères, autour de centres dynamiques, comme les cellules se forment dans les cytoplasmes, autour des centrosomes qui sont des centres dynamiques. D'autre part, les cristaux ont des formes régulières, géométriques, des angles saillants, des arêtes rectilignes, alors que les êtres vivants ont des formes arrondies, éloignées de la régularité géométrique; tandis que les êtres vivants se nourrissent par intussusception, c'est-à-dire en incorporant et mélangeant à toute leur substance la matière qu'ils absorbent, les cristaux s'accroissent par juxtaposition, c'est-à-dire en superposant les matériaux comme un maçon superpose les pierres pour construire un mur; les cristaux ne font subir à la matière qu'ils fixent aucune transformation chimique, la substance est sous le même état chimique dans le cristal que dans la solution; les êtres vivants, avant de l'assimiler, transforment chimiquement la matière absorbée qui se fixe en eux dans un état chimique différent de celui qu'elle avait dans les aliments, c'est ce qui constitue la nutrition. Enfin, les êtres vivants éliminent, dans leur milieu de développement, des substances qui sont le déchet de la vie; l'évolution du cristal n'est accompagnée d'aucune élimination.

Les croissances osmotiques présentent, avec les êtres vivants, des analogies bien plus étroites et bien plus nombreuses que les cristaux. Nous avons, dans les chapitres précédents, étudié les analogies de formes, les analogies des fonctions ne sont ni moins marquées, ni moins nombreuses.

La nutrition est une fonction générale des êtres vivants, son importance est telle qu'elle a été considérée jusqu'ici comme une des caractéristiques de la vie. Elle consiste dans l'absorption, la métamorphose chimique de la substance absorbée, son incorporation à l'être ou assimilation, enfin dans l'élimination, le rejet des déchets de la vie. Dans le parallèle entre les êtres vivants et les cristaux, nous avons vu les différences dans leur nutrition qui permettent de continuer à considérer la nutrition des êtres vivants comme caractéristique de la vie. La nutrition des croissances osmotiques a, avec la nutrition des êtres vivants, des analogies si étroites, qu'il est difficile de trouver des différences. Les croissances osmotiques exercent dans leur milieu de développement une absorption sélective, elles font subir aux substances absorbées des métamorphoses chimiques, elles les incorporent par intussusception, elles éliminent dans le milieu de développement certains des produits de leurs réactions. Considérons un cas simple, celui d'une croissance osmotique de chlorure de calcium dans une solution de carbonate de sodium; la croissance absorbe l'eau et l'ion carbonique, elle laisse l'ion sodique; l'ion carbonique subit une métamorphose chimique et entre en combinaison avec l'ion calcium, pour former une belle membrane transparente et souple de carbonate de calcium, c'est-à-dire que l'ion carbonique absorbé est assimilé et incorporé à la substance de la croissance osmotique; en même temps, l'ion chlore du chlorure de calcium est éliminé et se retrouve dans le milieu de développement à l'état de chlorure de sodium. Les actes de la nutrition des croissances osmotiques peuvent être beaucoup plus compliqués; la diffusion et l'osmose, en effet, des causes de réactions chimiques et des causes que l'on voit en action chez tous les êtres vivants. D'après Henri Sainte-Claire-Deville, lorsqu'on fait diffuser certains sels instables, la diffusion les décompose partiellement; le sulfate de potassium se sépare du sulfate d'alumine lorsqu'on fait diffuser de l'alun, l'acide chlorhydrique ou l'acide acétique se séparent de l'alumine lorsqu'on fait diffuser du chlorure ou de l'acétate d'aluminium. Quand on fait diffuser des mélanges de solution dans de la gélatine, les cercles, différemment colorés, expriment la séparation et la décomposition de la substance diffusante. Ces modifications chimiques sont la conséquence des résistances diverses que les milieux opposent à la diffusion des différents radicaux; il en résulte aussi, comme chez les êtres vivants, des différences de potentiel entre les milieux.

Les actions chimiques déterminées par la diffusion sont à étudier, la chimie de l'osmose est une chimie à faire, et cela paraît bien être la chimie de la vie. La diffusion, l'osmose dans les solutions aqueuses ont toujours pour résultat d'augmenter la concentration en un point et de la diminuer dans un autre; par ce seul fait, elles doivent occasionner des hydratations et des hydrolyses, des synthèses et des décompositions.

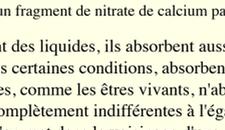


Fig. 66 - Absorption d'un fragment de nitrate de calcium par une cellule osmotique.

Les êtres vivants n'absorbent pas seulement des liquides, ils absorbent aussi des solides qu'ils liquéfient avant de les assimiler. Les croissances osmotiques, dans certaines conditions, absorbent aussi des solides qu'elles liquéfient avant de les assimiler. Les croissances osmotiques, comme les êtres vivants, n'absorbent, à l'état solide, que les substances qu'elles peuvent s'assimiler; elles restent complètement indifférentes à l'égard de la plupart des corps flottant dans leurs liquides de développement, mais, si l'on met dans le voisinage d'une production osmotique une substance pouvant lui être incorporée, on voit se dérouler une suite de phénomènes intéressants, différents suivant les circonstances, l'âge, le développement de la production, suivant la nature et l'état de la substance offerte. Par exemple: si, autour d'une production osmotique donnée par du chlorure de calcium dans une solution saturée de carbonate de potassium, on met un petit fragment de nitrate de calcium, on peut voir (figure 66), la cellule osmotique s'allonger vers le corps flottant, s'accrocher à lui, la membrane de la cellule s'avance sur le fragment, elle s'ouvre lentement et le nitrate pénètre à l'intérieur où peu à peu il se liquéfie et disparaît, incorporé à la substance de la cellule. Dans cette expérience, le nitrate de calcium, nageant dans le carbonate de potassium, est lui-même une cellule osmotique. L'absorption n'a lieu sous la forme précédente que lorsqu'il existe une grande différence de pression osmotique entre les deux cellules, autrement l'absorption est différente: le nitrate de calcium se fixe à la paroi de la grosse cellule à laquelle il se trouve ainsi incorporé comme une véritable greffe, il pousse, se développe, s'organise, sur la souche sur laquelle il s'est fixé.

L'analogie de la nutrition va plus loin, elle se trouve non seulement dans la nature des phénomènes, mais aussi dans leur évolution, dans leurs modifications chronologiques. Au début, les phénomènes d'échanges, de croissance, d'organisation sont très intenses dans les productions osmotiques, puis ils se ralentissent, la croissance s'arrête, mais les échanges continuent longtemps encore, tout en se ralentissant à leur tour; enfin, ils s'arrêtent et peu à peu la croissance se désagrège, perd sa structure et sa forme. Il est facile de constater que les membranes des productions osmotiques s'épaississent avec l'âge et opposent aux échanges une résistance grandissante, ceux-ci s'affaiblissent également par la diminution des différences de pression osmotique, les cellules osmotiques jeunes sont gonflées et turgescents, les vieilles flasques, relâchées et ridées. C'est un phénomène semblable à ce que l'on observe chez les êtres vivants: la sclérose, l'infiltration calcaire des vaisseaux, représente l'épaississement, le durcissement des parois osmotiques de l'organisme; la tension des tissus chez l'enfant, la turgescence des cellules jeunes, est l'expression d'une forte pression osmotique intérieure; le relâchement, la flaccidité des tissus des vieillards trahit l'abaissement de la pression osmotique intra-cellulaire.

L'absorption de substance par la croissance osmotique a pour conséquence l'augmentation de volume et de poids, l'accroissement de l'un et de l'autre est considérable, une production osmotique peut atteindre plusieurs centaines de fois le poids de la substance initiale, ainsi qu'il est facile de le constater par deux pesées, faites avant et après la croissance; le liquide de développement subit une perte de poids égal à l'augmentation de celui de la croissance.

La condition essentielle de l'être, c'est sa forme: naître, c'est prendre une forme; l'être apparaît avec sa forme qui n'existait pas avant lui, évolue et disparaît avec elle. Tandis que la substance et l'énergie existent avant l'être vivant, persistent après lui, ne font que passer en lui, l'être est indissolublement lié à sa forme, l'être est dans la forme, c'est-à-dire dans l'association, l'arrangement et l'harmonie du courant de matière et d'énergie qui circule en lui. C'est par leurs formes que nous reconnaissons les objets et les êtres, que nous les distinguons et que nous les classons. Le mot forme, désignant l'arrangement de la matière et de l'énergie, comprend: la forme extérieure, la forme intérieure ou structure, et la forme moléculaire ou constitution chimique. Il est évident que cette importance irréfutable de la forme devrait mettre la morphogénie à la base de la biologie.

Ce sont la forme, la structure, la composition chimique qui déterminent les réponses par lesquelles un organe réagit aux excitations extérieures: les fonctions sont des résultantes des formes. Tant que la forme d'un appareil ou d'un être est normale, intacte, parfaite, l'appareil ou l'être remplit sa fonction; dès que la forme est altérée, la fonction est altérée. C'est sur cette relation entre les fonctions et les formes que repose toute la médecine qui, du trouble des fonctions, déduit le siège et la nature des lésions, c'est-à-dire les altérations des formes. Puisqu'en pratique on utilise cette notion comme un guide certain, on doit l'admettre explicitement à la base de la biologie: les fonctions sont les résultantes des formes, et l'étude des facultés organisatrices des forces physiques doit être la base de la biologie.

Les productions de la nature ont été, jusqu'ici, divisées en deux groupes; les formes fixes du règne minéral, les formes évolutives des êtres vivants. C'était une des principales caractéristiques des êtres vivants que d'évoluer dans leurs formes, de débiter par une forme simple, puis de se développer, en se compliquant, par l'apparition de parties nouvelles qui se différencient dans leurs formes et dans leurs fonctions. L'importance attribuée à ce fait était telle qu'on en avait fait la base de la division la plus grande et la plus marquée: celle du monde organique et celle du monde inorganique.

Comme les êtres vivants, les productions osmotiques évoluent dans leurs formes; elles débiter par une forme simple, puis se développent en se compliquant par l'apparition des parties nouvelles qui se différencient par leurs formes et par leurs fonctions. Si cette description définit l'organisation, la croissance osmotique nous montre comment les forces physiques organisent la matière minérale. Sous l'influence de leur énergie interne et de son conflit avec les énergies extérieures, les croissances osmotiques s'étendent, se développent en parties qui se différencient par la forme extérieure, la structure, la composition, et par les réactions aux actions extérieures, c'est-à-dire par les fonctions.

Les formes extérieures des productions osmotiques présentent la plus grande ressemblance avec celles des êtres vivants, dont à première vue elles évoquent la pensée, si bien qu'en leur présence les personnes les moins prévenues emploient, pour les désigner, le nom des êtres vivants de forme correspondante. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les photographies pour y reconnaître la forme de champignons, de coquilles ou de plantes.

La forme intérieure ou structure des productions osmotiques ne présente pas moins de ressemblance que la forme extérieure avec celle des êtres vivants. Cette structure est faite par la réunion de cavités closes ou cellulaires, séparées par des membranes osmotiques, remplies de liquide dans lequel se trouve un centre condensé ou noyau; ce centre dans la cellule osmotique, comme dans la cellule vivante, est un centre dynamique. La structure varie dans les différentes parties d'une même croissance, elle n'est pas la même dans le pied que dans le chapeau du champignon, pas la même dans une tige que dans un organe terminal ou dans une expansion foliacée.

Les croissances osmotiques peuvent être formées des mêmes éléments chimiques que les êtres vivants: carbone, oxygène, hydrogène, azote, soufre, calcium, sodium, potassium, fer, etc. La composition chimique, ou forme moléculaire, n'est pas la même dans les différentes parties qui résultent de l'organisation d'une production osmotique ainsi que le montrent les différences de couleurs dans les croissances qui contiennent du manganèse ou du fer.

Enfin les diverses parties des croissances osmotiques assument des fonctions différentes et c'est cette différenciation des fonctions qui, chez les êtres vivants, constitue les organes. La fonction d'absorption, dans les croissances à haute tiges, est presque exclusivement localisée à la base. Dans les grosses cellules osmotiques qui émergent de leur milieu de développement, l'absorption est nécessairement circonscrite à la partie immergée. Dans les solutions saturées, d'abord de carbonate de sodium, puis de phosphate tribasique de sodium, le chlorure de calcium donne des productions dont la croissance ne se fait qu'à l'extrémité où existe un mouvement localisé, une agitation très curieuse. Le dégagement de bulles de gaz, pendant la croissance est habituellement localisé à certaines régions, à la base, au sommet ou en couronne autour de l'équateur.

Une analogie remarquable entre les productions osmotiques et les êtres vivants se trouve dans la façon dont les liquides intérieurs se comportent en présence du milieu de développement. Lorsque les liquides intérieurs des êtres vivants, la sève d'une plante, le sang d'un animal, échappent à travers les membranes qui les renferment et s'écoulent dans l'air ou dans l'eau, qui constituent le milieu ambiant, ils subissent des modifications, abandonnent la consistance liquide pour prendre la consistance d'une gelée, c'est là ce qui constitue la coagulation. Lorsque le liquide intérieur d'une production osmotique s'épanche dans le liquide de développement, il prend la forme d'un précipité gélatineux, d'une gelée, et cette précipitation gélatineuse est un phénomène physico-chimique de même ordre, de même nature que la coagulation. C'est en choisissant des conditions simples, en s'adressant à des liquides moins complexes que le sang, que l'on élucidera le mécanisme physico-chimique de la coagulation. A cet égard, je ferai remarquer que, dans les solutions saturées, les précipités de carbonate et de phosphate tribasique de calcium sont colloïdaux, ils se font en belles membranes transparentes et souples, tandis qu'ils sont pulvérulents et opaques dans les solutions étendues. La coagulation est un phénomène analogue à celui qui précède la précipitation à l'état de gel d'un sel de calcium.

En mélangeant des solutions étendues de chlorure de calcium et de phosphate tribasique ou de carbonate de potassium ou de sodium, on a un précipité analogue à l'albumine coagulée dont il présente l'aspect et l'évolution physique; comme l'albumine, il se floconne et se dépose lentement sous forme d'une masse gélatineuse. L'analogie se trouve jusque dans l'action de la chaleur, lorsqu'on chauffe une dissolution d'un sel calcique, dissous à la faveur d'un acide volatil, il se forme un précipité si ressemblant à celui de l'albumine coagulée que, pour le différencier, il faut le faire dissoudre en ajoutant une goutte d'acide.

MM. Arthus et Pagès ont fait remarquer que le sang ne coagule plus lorsqu'on l'a privé de son calcium par addition d'oxalates, de fluorures, de citrates alcalins, et en général de tous les sels dont les acides précipitent le calcium, ce qui fait employer les sels de calcium comme coagulants. La coagulation du sang se présente donc comme la précipitation à l'état de gel d'un sel de calcium.

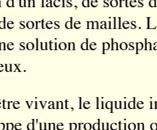


Fig. 67 - Photographie d'un précipité de phosphate tricalcique.

La coagulation du sang se fait par la production d'un lacs, de sortes de mailles de fibrine. La précipitation des sels calciques se fait par la production de sortes de mailles. La figure 67 est la photographie d'un précipité de phosphate tricalcique produit par l'agitation d'une solution de phosphate trisodique avec une solution de nitrate de calcium et photographié après une minute ou deux.

Lorsqu'une incision est faite au tégument d'un être vivant, le liquide intérieur se coagule à la surface, ferme la plaie qui se cicatrise. Lorsque la membrane d'enveloppe d'une production osmotique est déchirée, l'ouverture se ferme et se cicatrise par un précipité colloïdal, et la croissance recommence. La blessure faite à une production osmotique retarde et modifie sa croissance et son développement.

Nous avons vu que les croissances osmotiques éliminaient une partie de leur substance dans leur milieu de développement, c'est l'analogie de ce qu'en biologie on étudie sous le nom d'excrétion. Lorsque les substances éliminées par certaines cellules continuent cependant à faire partie de l'être, ou à être utilisées par lui, le phénomène prend le nom de sécrétion. Les productions osmotiques nous montrent aussi l'analogie de la sécrétion. On voit souvent les cellules osmotiques laisser échapper une partie de leur contenu qui forme avec le liquide extérieur une gelée qui continue à faire partie de la croissance, à évoluer avec elle en s'organisant. La plupart des organes terminaux sont ainsi formés. La figure 68 représente une cellule osmotique isolée qui a sécrété une partie de sa substance et s'est ainsi entourée d'une enveloppe gélatiniforme qui a ensuite évolué. On peut voir, dans sa masse, des granules formés par des centres de condensation ou de cohésion, et analogue des noyaux des cellules vivantes poly nucléaires.

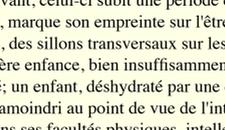


Fig. 68 - Cellule osmotique entourée d'une enveloppe sécrétée par elle.

Lorsque, pendant la croissance d'un être vivant, celui-ci subit une période d'inanition par privation de nourriture ou par maladie, cette période laisse des traces, marque son empreinte sur l'être de diverses manières; c'est ainsi qu'il se produit, chez les animaux et chez l'homme, des sillons transversaux sur les dents et sur les ongles. Un effet des maladies et de l'inanition pendant la première enfance, bien insuffisamment connu, est celui exercé sur le système nerveux, il dépasse l'influence de l'hérédité; un enfant, déshydraté par une diarrhée cholériforme, restera pour toujours; par rapport à ses frères et sœurs, amoindri au point de vue de l'intelligence, altéré au point de vue du caractère; pendant toute sa vie, il subira dans ses facultés physiques, intellectuelles et morales, les conséquences de cette maladie de sa première enfance.

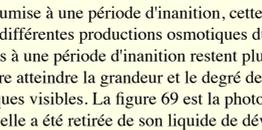


Fig. 69 - Croissance osmotique portant les marques d'une période d'inanition.

Lorsqu'une croissance osmotique est soumise à une période d'inanition, cette période laisse sur elle une marque, une empreinte qui ne s'efface jamais. Parmi différentes productions osmotiques du même ensemencement dans les mêmes cultures, celles qui sont soumises à une période d'inanition restent plus petites, plus chétives que les autres, dont il est impossible ensuite de leur faire atteindre la grandeur et le degré de développement. L'inanition laisse aussi sur les croissances osmotiques des marques visibles. La figure 69 est la photographie d'une production osmotique qui a été soumise à une période d'inanition; elle a été retirée de son liquide de développement pendant plusieurs heures et remise ensuite à croître dans ce même liquide. La période d'inanition est nettement marquée par des sillons transversaux sur les feuilles. On conçoit d'ailleurs le mécanisme par lequel l'inanition modifie la croissance. Pendant la croissance, il existe, entre les bases et les sommets des tiges et des feuilles osmotiques, des différences de pression osmotique qui s'égalisent pendant l'inanition, pour se reconstituer progressivement lorsque la nutrition est rétablie.

En résumé, les facultés de nutrition, d'absorption, de différenciation ou métamorphose chimique, d'assimilation, d'élimination, de croissance, de développement, de différenciation fonctionnelle, d'organisation, d'inanition, de maladie s'observent dans les croissances osmotiques, comme chez les êtres vivants.

PHYSIOGÉNIE DE LA CIRCULATION

Toutes les cellules vivantes sont aquatiques: elles ne vivent que dans un courant de liquide, dans une solution aqueuse, sève pour les cellules végétales, sang et lymphes pour les cellules animales. Ce courant liquide leur apporte, en partie au moins, la substance dont elles se nourrissent et emporte les substances qu'elles éliminent. Le reste des substances absorbées par les êtres vivants est emprunté à l'atmosphère: oxygène et gaz carbonique. Le liquide, pour apporter aux cellules leurs aliments et pour emporter leurs déchets, doit être le siège d'une incessante circulation. La circulation doit être étudiée non seulement au point de vue cinétique, mais encore au point de vue dynamique. Il faut étudier les forces physiques qui peuvent produire la circulation des liquides, telle qu'on l'observe chez les êtres vivants. La biologie synthétique peut nous apporter sur ce point d'utiles indications.

Comme les êtres vivants, les croissances osmotiques ont, dans leur intérieur, une circulation des liquides; cette circulation est facile à voir dans les tiges transparentes, au moins la circulation de la base vers le sommet, ce courant est rendu manifeste par les granulations et les bulles de gaz qu'il entraîne. Le courant porte les substances dissoutes, le sel de calcium, par exemple, du noyau vers les extrémités, pour y former les membranes osmotiques; un courant centripète porte l'eau vers le noyau qu'elle va dissoudre. La force physique, qui est la force motrice de ce courant, c'est la différence de pression osmotique, la différence de concentration entre le noyau basilaire et les sommets, et la périphérie de la production osmotique.

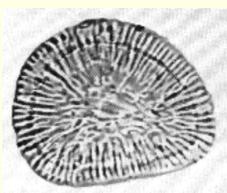


Fig. 70 - Photographie d'une cellule osmotique, avec mise au point sur les courants intérieurs pour montrer sa circulation.

Il existe, chez les êtres vivants, une autre circulation que la circulation générale de la sève, de la lymphe ou du sang, c'est la circulation de l'unité organique, de la cellule. La cellule absorbe la substance nutritive et rejette les produits de désassimilation; elle a nécessairement une circulation centripète et centrifuge. D'ailleurs, chez les rhizopodes, on voit au microscope cette circulation décrite aussi sous le nom de courants protoplasmiques. Au point de vue circulaire, un centre de diffusion est l'image d'une cellule, il en présente le mécanisme, les courants centripètes et centrifuges, le dynamisme et le cinétisme. La circulation intense des cellules vivantes est difficile à étudier, mais on peut étudier celle des cellules osmotiques. Les grosses cellules de sel de calcium, parfaitement transparentes, se prêtent tout particulièrement à l'étude de la circulation intérieure des cellules artificielles, dans l'intérieur desquelles se développent de nombreux éléments figurés, des granulations, des bulles de gaz qui permettent de bien voir les courants qui les entraînent. Vu à un grossissement de 3 à 20 diamètres, l'intérieur des cellules osmotiques de sels calciques est le siège d'une grande animation: on y voit un lacis inextricable de courants nettement limités comme s'ils s'effectuaient dans des vaisseaux, on distingue alors facilement les courants centrifuges et centripètes qui se croisent en se superposant. La figure 70 est la photographie d'une cellule osmotique, à un grossissement de 10 diamètres, avec mise au point sur les courants intérieurs.

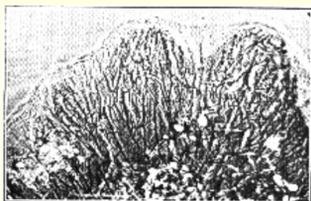


Fig. 71 - Circulation intérieure d'une cellule osmotique agrandie 40 fois.

Les courants internes des cellules osmotiques sont nets et circonscrits comme s'ils se faisaient dans des vaisseaux. Les courants centrifuges vont en se ramifiant de plus en plus du centre à la périphérie, les courants centripètes vont en se réunissant de la périphérie vers le centre. L'appareil circulaire intra-cellulaire artificiel est donc formé de gros troncs centrifuges qui se ramifient en un lacis capillaire périphérique, lequel se réunit de nouveau en gros troncs centripètes. La figure 71 est une photographie, agrandie quarante fois, des courants centrifuges: on y voit bien les courants se diviser en s'éloignant du centre. Cette circulation intracellulaire est l'expression cinétique du centre dynamique de la cellule artificielle, de la différence de potentiel, de la chute de concentration du centre à la périphérie. Ce mouvement interne, cette circulation a pour résultat de transporter les substances nécessaires aux fonctions de nutrition, de croissance et d'organisation. Les courants centripètes apportent au centre l'eau qui vient dissoudre le sel soluble, les courants centrifuges emportent celui-ci qui va former les granulations ou globules entraînés dans le courant circulaire, organiser la masse cytoplasmique et donner la substance pour la formation et l'extension de la membrane; là, le courant liquide, déjà dilué par toute la substance qu'il a abandonnée sur sa route, absorbe encore de l'eau à travers la membrane, ainsi que les substances qui la traversent facilement, et retourne vers le centre, redevenant courant centripète.

Ce courant intra-cellulaire des cellules artificielles n'est pas un courant continu; comme le courant sanguin des animaux, il a une certaine périodicité, dont l'observation révèle le mécanisme physique. La croissance des cellules artificielles est elle-même périodique et donne ce caractère à la circulation. Les membranes des cellules sont élastiques, sous l'influence de l'absorption de substance, elles se distendent d'abord lentement et régulièrement, puis s'accroissent par une brusque poussée, à ce moment on voit la circulation subir une vive impulsion et le phénomène recommence. Ce phénomène de périodicité s'observe bien en faisant pousser, dans une solution saturée de phosphate alcalin tribasique, des graines formées de chlorure de calcium pulvérisé, additionné de 1 p. 100 de phosphate monocalcique, agglomérées avec de la glycérine; la cellule pousse sous la forme d'un long cylindre vertical transparent; si l'on incline le sommet de façon à courber le cylindre en arc, à chaque poussée périodique il se redresse et le sommet se relève de plusieurs millimètres, la périodicité est d'environ vingt par minutes, j'ai quelquefois observé ces battements périodiques pendant plus d'une heure, c'est-à-dire qu'une cellule pendant son existence peut battre périodiquement plus de mille fois.



Fig. 72 - Courants intérieurs d'une cellule artificielle convergeant vers un fragment qu'elle absorbe.

Une étude intéressante, et susceptible d'être féconde, est celle des modifications de cette circulation sous des influences diverses; toute irritation à la surface de la cellule artificielle influence la circulation intérieure ou produit de véritables congestions vasculaires. C'est ainsi que, dans l'absorption décrite au chapitre précédent d'une substance assimilable, on voit, dès que le contact est établi entre les deux cellules (figure 72), les courants internes converger vers le point de contact; après la pénétration, les courants entourent le fragment absorbé vers lequel ils convergent ainsi que le montre la photographie figure 73.



Fig. 73 - Courants intérieurs d'une cellule artificielle concentrés sur un fragment absorbé.

Autour d'une cellule osmotique en voie de développement dans une solution saline, par suite du passage de l'eau à travers la membrane et de sa pénétration à l'intérieur, la solution se concentre autour de la cellule. Cette concentration produit un appel d'eau, et l'afflux vers la production osmotique se fait par des courants que j'ai réussi à photographier (figure 74). La production, dans les solutions, de ces courants remarquables, insoupçonnés jusqu'ici, est très générale, ils naissent sous l'influence de toutes les causes qui font varier la concentration en certains points d'une solution; c'est ainsi que sous l'influence de l'évaporation, de l'échauffement, de l'éclairement d'une solution, on y voit naître une vascularisation extrêmement sensible à toutes les influences.

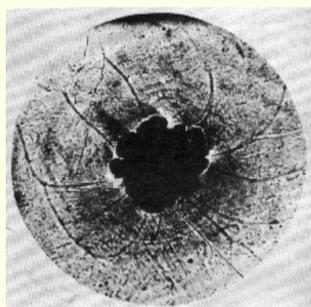


Fig. 74 - Courants dans le liquide de développement d'une cellule artificielle.

Rien ne ressemble à l'apparition du système vasculaire dans l'embryon en développement comme l'apparition de ces vascularisations dans les liquides. Le mécanisme physique est d'ailleurs le même dans les deux cas: tous les procédés d'incubation donnent naissance à des différences de concentration, dues généralement à une augmentation de la concentration à la surface de l'œuf, et toute augmentation de concentration sur une surface liquide détermine le développement d'une vascularisation. Les procédés de la biologie synthétique présentent ainsi des méthodes pour des études expérimentales jusqu'ici inaccessibles et jetés du jour sur les phénomènes les plus mystérieux de la vie.

PHYSIOGÉNIE DE LA MULTIPLICATION KARYOKINÈSE

La multiplication des éléments anatomiques, la reproduction des individus, par laquelle se perpétuent les espèces, sont des phénomènes les plus remarquables de la vie. Leur reproduction par les forces physiques ou synthèse doit nécessairement, comme toute œuvre, être progressive, on doit chercher à comprendre ou à conjecturer le mécanisme physique de chaque période, de chaque phase des phénomènes, chercher à les reproduire séparément, et s'appliquer ensuite à réunir dans leur ordre consécutif et régulier, les périodes et les phases séparément reproduites.

Le mode le plus fréquent de multiplication cellulaire, de division ovulaire, est celui appelé Karyokinèse, ou segmentation par division du noyau.

Lorsqu'une cellule vivante est pour se diviser, on voit apparaître, dans le protoplasma de cette cellule, deux points que les naturalistes ont appelés centrosomes; ces points s'entourent de lignes rayonnées qui, des centrosomes, s'étendent dans toutes les directions, à tout le protoplasma de la cellule; une partie de ces lignes rayonnées vont d'un centrosome à l'autre, elles partent d'un centre en divergeant, puis se recourbent pour aller converger vers l'autre. L'ensemble des lignes rayonnant d'un centre est appelé aster; les lignes allant d'un centre à l'autre forment ce que l'on appelle le fuseau. Les deux centrosomes, d'abord placés l'un près de l'autre, s'éloignent et vont se placer de part et d'autre du noyau cellulaire, aux deux extrémités d'un diamètre; pendant ce temps, le noyau se gonfle, son contenu, d'abord homogène, devient granuleux, puis prend la forme d'un long ruban enroulé appelé spirème ou peloton chromatique parce qu'il se laisse colorer dans les préparations; le ruban chromatique montre ensuite de petits prolongements latéraux en forme de saccules; la limitation du noyau disparaît comme par dissolution de la membrane nucléaire. La substance chromatique s'oriente dans le plan équatorial par rapport aux deux centrosomes, et l'on voit, de ce plan équatorial, des rubans séparés, chromosomes, s'éloigner de part et d'autre, pour s'orienter dans des directions divergeant vers chaque centrosome, ces chromosomes avancent vers chaque centrosome sans les atteindre complètement. Les chromosomes de part et d'autre du plan équatorial, restent unis par de longs et fins filaments qui, avec les chromosomes, complètent le fuseau nucléaire. Enfin, au voisinage des centrosomes, les chromosomes se réunissent en deux masses pour former les deux nouveaux noyaux; pendant ce temps, la masse protoplasmique cellulaire se divise en deux parties qui s'accumulent autour de chaque noyau, la cellule se sillonne suivant le plan équatorial, et se sépare en deux cellules nouvelles, dont chacune va subir la même évolution à son tour.

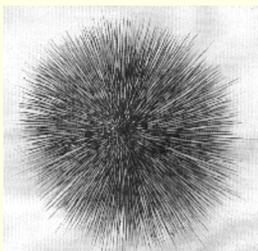


Fig. 75 - Aster artificiel.

Ce qui frappe d'abord, dans ce mode de division c'est qu'il est fait par deux centres d'attraction, qui agissent de part et d'autre sur le noyau, le divisent, et attirent chacune des deux moitiés pour en faire les noyaux des deux cellules nouvelles. Nous nous trouvons là en présence de l'action bien caractérisée de centres dynamiques. C'est en fonctionnant physiquement exactement comme des centres dynamiques que les centrosomes amènent la division cellulaire. Le premier problème de la synthèse karyokinétique est donc la production de centres dynamiques dans les liquides; au moment où j'entrepris mes recherches sur ce sujet, on n'en connaissait aucun, on entrevoyait même pas de quelle nature auraient pu être ces centres dans les liquides protoplasmiques. Nous avons vu, au chapitre Centres dynamiques, avec quelle perfection on pouvait produire des centres dynamiques dans les liquides; la nature des forces rayonnant de ces centres, c'est la pression osmotique. La figure 75 montre avec quelle perfection la force osmotique donne dans les liquides ces foyers dynamiques et reproduit les aspects observés dans les cellules autour des centrosomes; l'ensemble des rayons émanés de ces centres, rayons qui indiquent la direction des forces, constitue les asters ou astrosphères. Au chapitre V, la figure 9 B est aussi un bel aster artificiel.

La connaissance des pôles de diffusion dans les liquides permet facilement de reproduire tous les aspects, tous les phénomènes de la division karyokinétique et l'on trouvera toutes les indications utiles à cet effet dans la *Théorie physico-chimique de la vie*. On y verra la figure principale de la karyokinèse, un fuseau entre deux asters; dans cette figure les centrosomes sont positifs, c'est-à-dire sont des points de pression osmotique plus forte que celle du liquide dans lequel ils se trouvent. La figure 76 est la photographie de cette même figure karyokinétique artificiellement reproduite, mais cette fois, avec des centrosomes négatifs, c'est-à-dire ayant une pression osmotique moindre que celle du liquide dans lequel ils se trouvent.

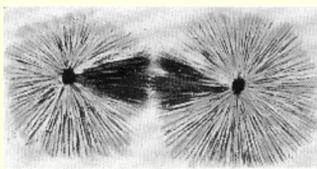


Fig. 76 - Figure de karyokinèse produite par diffusion.

On voit, autour de ces centrosomes, les rayons formant les asters et l'on voit aussi le fuseau plus noir entre les deux centrosomes. L'imitation, par la diffusion, des figures karyokinétiques, se poursuit jusque dans les plus petits détails; dans les figures karyokinétiques, il existe, entre l'aster et le centrosome, un espace sans rayon, une centrosphère. Or, on voit cet espace, cette centrosphère, très marquée sur la figure karyokinétique artificiellement produite par les centres dynamiques de diffusion.

Dans une solution saline, si l'on place entre deux gouttes teintées, moins ou plus concentrées que la solution et représentant les centrosomes, une goutte très légèrement plus ou moins concentrée que la solution, et représentant un noyau, on voit se dérouler, dans leur ordre successif et régulier, toutes les transformations, tous les mouvements, toutes les figures de la division du noyau. Chaque centrosome artificiel s'entoure d'un aster, le noyau se gonfle, son contenu, d'abord homogène, devient granuleux, puis s'organise en un long ruban enroulé semblable au spirème; sur les bords de ce ruban se montrent des prolongements en forme de saccules; la masse de ce ruban s'accumule en partie dans le plan équatorial et se divise en fragments analogues aux chromosomes, qui se séparent de part et d'autre de l'équateur pour se diriger en convergeant vers les centrosomes. En s'éloignant, ces chromosomes artificiels restent réunis par de fins filaments, vestiges du fuseau nucléaire, ils se réunissent près de chaque centrosome en une masse qui s'entoure du liquide teinté analogue du cytoplasme, pour donner comme résultat l'apparence de deux cellules nouvelles. La figure 77, empruntée à *Théorie physico-chimique de la vie*, montre les aspects principaux de cette évolution: la figure A, le spirème; la figure B, l'orientation de la substance chromatique dans le plan équatorial; la figure C, les chromosomes en marche vers les centrosomes; la figure D, les deux cellules finales.

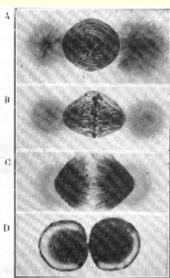


Fig. 77

La connaissance des centres dynamiques dans les liquides, des conditions de leur production, de leurs lois et de leurs effets permet de reproduire à volonté toutes les particularités des karyokinèses anormales, on peut voir dans *Théorie physico-chimique de la vie*, la photographie d'un tri-aster artificiel.

Dans des études expérimentales nombreuses, comme celles auxquelles je me suis livré, on voit parfois apparaître spontanément, dans l'intérieur des cellules artificielles transparentes, des asters, et on observe, sur la membrane de la cellule, la production d'un sillon, la cellule tend à se diviser, chaque centre astéroïde tend à attirer autour de lui, en une masse sphérique, une partie de la cellule. La figure 78 reproduit deux photographies de cellules artificielles dans l'intérieur desquelles s'aperçoit un aster.

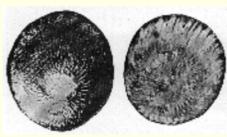


Fig. 78 - Cellules artificielles dans l'intérieur desquelles on voit un aster.

L'apparition, dans une cellule vivante du phénomène de la karyokinèse, est donc la conséquence de la présence dans le cytoplasme de deux centres dynamiques ou centrosomes, et les expériences de la biologie synthétique rendent extrêmement probable que ces deux centres sont des centres de force osmotique, des pôles de diffusion, des points de concentration moindre ou de concentration plus forte que celle du protoplasma cellulaire. Ce point important étant admis, il y a lieu de rechercher comment des pôles de diffusion peuvent se trouver dans les cellules, ils doivent nécessairement y être provoqués par les actions du dehors, et ils peuvent se produire soit par des actions physiques, soit par un apport de substance; ils semblent être produits par des actions physiques, par des excitations extérieures, dans la multiplication cellulaire pour la croissance normale, ils peuvent alors résulter de deux centres de métabolisme, consistant soit en décomposition, catabolisme, ou synthèse, anabolisme, ou en centres de polymérisation ou de dépolymérisation ou dissociation. Dans un plasma, tout point où les molécules augmentent de nombre est un pôle positif de diffusion et un centre de force osmotique; tout point, où le nombre des molécules diminue, a une concentration moindre que celle de son milieu, est un pôle négatif de diffusion, un centre dynamique osmotique. Il y aura lieu de rechercher comment, dans un plasma, les excitations de l'extérieur peuvent provoquer la formation de centres dynamiques, comment elles peuvent en un point d'une solution augmenter ou abaisser sa concentration.

Les centres dynamiques d'où résulte la karyokinèse peuvent être produits par l'introduction dans les cellules de substances venant de l'extérieur, comme cela paraît être le cas dans la fécondation où les centres karyokinétogènes semblent introduits par le spermatozoïde, cela semble être aussi le cas dans les tumeurs malignes où un parasite passant de cellule à cellule produirait leur karyokinèse et par conséquent introduirait en chacune d'elles deux centres dynamiques.

Rien n'illustre mieux la légitimité, l'intérêt, l'importance de la biologie synthétique et de ses méthodes, que cette expérience de la karyokinèse artificielle. La karyokinèse était un des phénomènes les plus merveilleux et les plus mystérieux de la vie, c'est une surprise de relire aujourd'hui les innombrables tentatives d'interprétation des maîtres de la science. Dirigé par les méthodes de la synthèse biologique, utilisant ma découverte des centres dynamiques dans les liquides et ma conception de leur rôle chez les êtres vivants, je cherchai à imiter la nature, et j'entrepris de reproduire la karyokinèse dans les liquides; dans les expériences de la biologie synthétique, je cherchai à imiter la nature, et j'entrepris de reproduire la karyokinèse dans les liquides; dans les expériences de la biologie synthétique, je cherchai à imiter la nature, et j'entrepris de reproduire la karyokinèse dans les liquides; dans les expériences de la biologie synthétique, je cherchai à imiter la nature, et j'entrepris de reproduire la karyokinèse dans les liquides. Avec une perfection qui ne devait pas être espérée, j'arrivai à reproduire cette suite de transformations, de mouvements, d'aspects changeants, de phénomènes compliqués. Si je n'imitais pas un phénomène de la vie ces expériences seraient sans signification, alors qu'au contraire, comme tentative de reproduction d'un phénomène vital, comme synthèse biologique, elles acquièrent une grande importance, et jettent le plus grand jour sur le mécanisme de la karyokinèse des cellules vivantes. Ce n'est pas seulement la reproduction des aspects et des formes; c'est, par la mise en jeu et la direction d'une force physique, la reproduction, dans leur ordre régulier et prolongé, des mouvements les plus remarquables et les plus compliqués de la vie.

PHYSIOGÉNIE DE LA MULTIPLICATION

SEGMENTATION

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les détails du phénomène compliqué de la karyokinèse; il se résume en ce que, dans le liquide intra-cellulaire d'une cellule vivante, c'est-à-dire ayant un centre dynamique en activité, l'apparition de deux autres centres dynamiques détermine la division de la cellule, sa segmentation en deux cellules secondaires. Toutes les multiplications cellulaires, la reproduction des êtres vivants d'où résulte leur perpétuation résultent ainsi de la segmentation de masses liquides. Les laborieuses études, faites par les méthodes actuelles de la biologie, n'ont pas conduit au delà de la simple constatation des faits. On conçoit l'importance que devrait avoir, pour la biologie, la connaissance des conditions et des lois physiques de la segmentation des liquides en dehors des êtres vivants. Depuis douze ans, j'ai poursuivi l'étude expérimentale de cette question, je suis arrivé à un déterminisme du phénomène tel qu'à volonté, je produis, dans les liquides, des segmentations si semblables à celles des êtres vivants que les photographies des deux phénomènes ne se distinguent pas, ou ne se distinguent qu'à grand'peine. Dans les conférences que j'ai faites à Paris, en 1906, et à la British Association, Dundee, 1912, j'ai projeté sur l'écran, devant mes auditeurs, le phénomène lui-même avec toute son évolution.

Les cellules, les êtres vivants, se reproduisent par segmentation, le bourgeonnement, l'ovulation sont des segmentations qui diffèrent surtout par les dimensions relatives des segments.

Les cellules artificielles se segmentent par plusieurs mécanismes. Lorsqu'on place un fragment de sel soluble de calcium, chlorure ou nitrate, dans une solution concentrée de carbonate ou de phosphate tribasique de sodium, la cellule osmotique qui se développe acquiert rapidement un poids spécifique moindre que le liquide de développement; sous l'influence de la poussée hydrostatique, elle se détache de sa base sous forme d'une belle vésicule transparente qui s'élève et flotte dans le liquide où, à l'état indépendant, elle grossit, se différencie et s'organise. Une même souche donne ainsi un certain nombre de productions osmotiques flottantes comme le montre la photographie figure 79.



Fig. 79 - Productions osmotiques flottantes.

L'expérience est particulièrement belle et intéressante, en formant une graine avec du chlorure de calcium pulvérisé, du savon amygdalin et de la glycérine pour agglomérer. On place cette graine dans une solution saturée d'abord de carbonate de sodium puis de phosphate tribasique de sodium. La graine forme une cellule osmotique que l'on voit bientôt se recouvrir de petits bourgeons sphériques, d'abord gros comme un grain de mil, ils deviennent gros comme un petit pois, puis ils se détachent et flottent dans le liquide sous forme de belles cellules sphériques, transparentes, qui grossissent et évoluent. En vieillissant, les cellules osmotiques secondaires s'opacifient, leurs membranes s'épaississent, leur poids spécifique augmente. Les cellules osmotiques secondaires, lorsqu'elles sont jeunes, nagent sous formes de nombreuses et belles vésicules limpides à la surface du liquide de culture; lorsque la culture est âgée de plusieurs jours, elle montre des cellules secondaires très nombreuses et très différentes, les unes petites et transparentes restent à la surface, d'autres nagent dans le liquide, d'autres sont déposées au fond. Quelques-unes des cellules secondaires dépassent notablement les dimensions de la cellule initiale d'où elles émanent. La figure 80 est la photographie d'une semblable culture: dans le liquide filtré, une seule cellule a été semée, c'est la grosse cellule au centre de la culture; elle a produit en deux jours toutes les autres cellules: les superficielles, les cellules déposées et celles qui nagent dans la culture. Les petites sont les plus jeunes, les grosses les plus âgées, quelques-unes de ces dernières ont dépassé les dimensions de la cellule mère; une seule cellule mère peut ainsi donner plus de cent cellules filles.



Fig. 80 - Cuve de culture dans laquelle une cellule mère unique est entourée de toutes ses cellules filles, les petites sont les jeunes, les grosses les plus âgées.

Comme la croissance, le développement et l'organisation, que les croissances osmotiques présentent à un si haut degré, la multiplication a été et est encore considérée comme l'apanage exclusif des êtres vivants, comme un attribut n'appartenant qu'à la vie; cependant, l'expérience figure 80, nous montre la reproduction expérimentale de ce phénomène avec une perfection, et à un degré que ne présentent pas tous les êtres vivants.

A propos de la multiplication cellulaire, je rappellerai les travaux de M. Charlton Bastian sur la génération spontanée, ceux communiqués à la Société de biologie par M. Raphaël Dubois sur les éobes et ceux de M. Butler Burke sur les radiobes. Ces auteurs se sont trouvés en présence de la multiplication cellulaire, ils ont contemplé le phénomène considéré comme le plus caractéristique de la vie. M. Bastian en a conclu à la génération spontanée des microbes, M. Burke à la présence de la vie. Quelle que puisse être l'erreur dans l'interprétation, celle-ci contenait une grande proportion de vérité. Ces auteurs découvraient et signalaient à l'attention un des phénomènes physiques les plus intéressants et les plus importants de la nature. Mais les esprits sont tellement esclaves de ce qui est admis, des opinions apprises, que l'on refusa de regarder le phénomène, et, sans le connaître, on décréta absurdes les assertions de ces chercheurs.

Le mode le plus intéressant de segmentation des liquides et des cellules artificielles est celui que j'ai interprété par les actions combinées de la diffusion et de la cohésion. (Voir le chapitre: Cohésion, dans *Théorie physico-chimique de la vie*.) Si l'on conserve un temps suffisant dans son liquide de développement une cellule artificielle formée, par exemple, par une goutte d'une solution de nitrate de potassium teintée dans une solution de nitrate de potassium un peu moins concentrée, on voit, dans l'intérieur de cette cellule artificielle, apparaître d'abord un sillon, puis d'autres sillons qui divisent la cellule en cellules secondaires, dont le nombre augmente à mesure que se continue le sillonnement, de sorte que la cellule artificielle n'est bientôt plus qu'un groupe de cellules secondaires, qu'une morula artificielle. La figure 81 est la photographie du produit de la segmentation du contenu d'une cellule artificielle formé d'une goutte d'une solution de nitrate de potassium teintée dans cette même solution un peu moins concentrée. Il est intéressant de rapprocher cette figure des photographies de la segmentation des ovules de l'oursin, avec lesquelles elle présente la plus grande ressemblance.

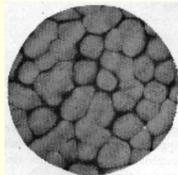


Fig. 81 - Photographie du résultat de la segmentation d'une cellule artificielle.

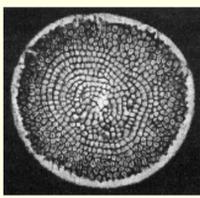


Fig. 82 - Morula artificielle.

La figure 82 est la photographie d'une morula artificielle résultant de la segmentation d'une cellule formée par une goutte d'une solution de nitrate de calcium, dans une solution de nitrate de sodium contenant des traces de carbonate de sodium. L'épreuve donne la cellule entière qui a conservé sa membrane d'enveloppe. Le contenu cellulaire s'est segmenté avec une admirable perfection, les cellules résultant de la segmentation présentent des sillons comme en montrent les cellules vivantes, et l'on peut voir que chaque cellule nouvelle s'est formée autour d'un centre d'attraction, centrosome, qui constitue son noyau.

J'ai interprété cette segmentation par la combinaison de la diffusion et de la cohésion; supposons deux projectiles soustraits à la pesanteur comme le sont les molécules d'une solution par la poussée hydrostatique, supposons-les passant l'un près de l'autre avec une force vive inférieure à l'attraction réciproque de leurs masses, cette attraction l'emportera et les projectiles s'accrocheront l'un à l'autre; ils attireront à eux, de la même manière, toutes les masses qui parviendront, dans les mêmes conditions, dans leurs sphères d'attraction. C'est ainsi que les choses doivent se passer dans les liquides hétérogènes où les courants de diffusion transportent des masses soustraies à la pesanteur par la poussée hydrostatique; il doit en résulter des centres de condensation, et un ensemble de cellules ou de glomérules qui constituent une morula et dont les noyaux de condensation sont des centres dynamiques.

La segmentation des cellules artificielles montre les variétés décrites en physiologie, la segmentation marginale, par exemple. Les résultats sont tellement semblables qu'en rapprochant des figures du phénomène naturel, les photographies des cellules artificielles segmentées, il est bien difficile de trouver des différences.

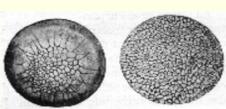


Fig. 83

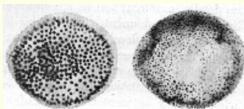


Fig. 84

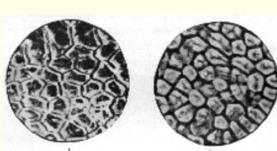


Fig. 85

La figure 83 représente en A le disque germinatif d'un œuf de poule, d'après Kölliker, et en B la photographie d'une cellule artificielle dont le contenu a subi la segmentation.

La figure 84 représente en A une gastrula de *Strongylocentrotus*, d'après Boveri, et en B une gastrula résultant de l'évolution d'une cellule artificielle.

Dans la figure 85, B est la photographie d'un groupe de cellules secondaires résultant de la segmentation du contenu d'une cellule artificielle; A est la microphotographie de cellules épithéliales de grenouille.

La segmentation cellulaire est un des plus mystérieux phénomènes de la vie; on ne connaissait jusqu'ici, dans la physique des liquides, rien d'analogue, rien ne permettait d'entrevoir le mécanisme physique du phénomène. Les expériences décrites ici, dont les résultats, jusque dans les détails, montrent tant de similitude avec la segmentation ovulaire, donnent, sinon la conviction, au moins l'opinion que les deux phénomènes sont produits par un mécanisme identique. Cette opinion est fortifiée par le fait que ce sont les mêmes conditions physiques qui produisent la segmentation de l'ovule et celle de la cellule artificielle. La segmentation des œufs des oiseaux, par exemple, est déterminée par l'incubation, c'est-à-dire par une élévation de température qui, par évaporation, les déshydrate à la surface et produit dans l'intérieur des mouvements très lents de diffusion. On peut considérer toutes les conditions de la segmentation ovulaire chez les êtres vivants, toutes déterminent des courants lents de diffusion dans l'ovule; or, toutes les fois que dans une cellule artificielle on produit de très faibles courants de diffusion, on voit son contenu se segmenter et subir une évolution semblable au développement ovulaire. Il semble bien que la biologie synthétique nous révèle l'un des mystères fondamentaux de la vie.

BIOÉNERGÉTIQUE

Tous les êtres vivants sont des accumulateurs et des transformateurs d'énergie. Les végétaux reçoivent l'énergie rayonnante du soleil, la transforment en énergie chimique, l'accumulent sous cette forme. Les animaux, par toutes les substances qu'ils absorbent, reçoivent de l'énergie chimique, ils l'accumulent également sous la forme chimique, et la transforment pour la rendre au monde extérieur par toutes les manifestations de la vie, par la chaleur qu'ils cèdent au milieu, par le mouvement, par le travail, par toutes les actions qu'ils accomplissent, par l'électricité chez les animaux électriques, par la lumière chez les animaux lumineux.

L'énergie des êtres vivants est conservée en eux à l'état potentiel. Cette potentialité de l'énergie vitale n'a pas encore été aperçue par la physiologie.

C'est une loi générale de la physique qu'une énergie potentielle quelconque ne peut se transformer que par l'intervention d'une petite quantité d'énergie étrangère, énergie excitatrice. C'est l'énergie du mécanicien qui tourne le robinet d'admission de vapeur dans le cylindre de sa locomotive, du meunier qui lève la vanne pour laisser tomber l'eau sur la roue de son moulin, de l'électricien qui ferme le circuit qui répand le courant dans une ville, du tireur qui appuie sur la gâchette de son fusil, c'est l'énergie qui frotte l'allumette qui allume un incendie. L'énergie potentielle est de l'énergie emprisonnée, l'énergie excitatrice est celle qui ouvre la porte de la prison. De même qu'en ouvrant la porte d'une prison on peut donner la liberté à un, dix, cent, mille ou un nombre quelconque de prisonniers; de même, l'énergie excitatrice est sans aucun rapport de grandeur, sans aucune proportion avec les quantités d'énergie potentielle qu'elle dégage.

Cette loi physique qui exige l'intervention d'énergie excitatrice pour le dégagement et la transformation de l'énergie potentielle est aussi une loi biologique. L'énergie accumulée par les êtres vivants, conservée en eux à l'état potentiel ne se transforme et ne se dégage que par l'intervention d'énergies excitatrices, que par l'action de petites quantités d'énergie de source étrangère à l'être. Ces énergies excitatrices ce sont celles qui provoquent les sensations.

On mentionne avec surprise le manque de proportionnalité entre les sensations et les réponses physiologiques qu'elles provoquent, la disproportion entre les ferments organiques solubles, les agents catalytiques et les substances transformées. Mais, dans tous ces cas, on se trouve en présence du phénomène général dans la nature vivante comme dans la nature anorganique, par lequel le dégagement et la transformation de quantités quelconques d'énergie potentielle sont déterminées par de minimes quantités d'énergie excitatrice, sans aucune proportion avec l'énergie potentielle déagée.

Dans l'étude de l'énergétique biologique, l'attention s'est exclusivement concentrée sur le phénomène d'équivalence que toutes les mesures ont vérifié; de sorte que la considération de l'être vivant comme accumulateur d'énergie potentielle, celle des excitations sensorielles comme énergies excitatrices, comme condition du dégagement et de la transformation de l'énergie potentielle des êtres vivants, ces deux considérations à elles seules représentent une réforme de la biologie.

L'évolution, le développement, la conservation de l'être vivant exigent une harmonie générale des mouvements qui s'accomplissent en lui; toute sa substance, toute la matière dont l'animation représente la vie doit se maintenir dans les rapports qui constituent l'être vivant; c'est-à-dire dans un état de constant équilibre dont la conservation est la santé, le trouble la maladie, la rupture la mort. Cet équilibre vital se présente comme un équilibre cinétique, c'est-à-dire subordonné au mouvement. Si, dans l'être vivant, les mouvements s'arrêtent, l'équilibre est détruit pour toujours. C'est le caractère de tous les équilibres cinétiques: de celui de la toupie, du gyroscope, du bicycliste, de l'aéroplane, des planètes, d'être détruits dès que leurs mouvements s'arrêtent. Arrêtons leurs mouvements, la toupie et le gyroscope tombent de leurs pointes, le bicycliste de sa bicyclette, l'aviateur s'abîme sur le sol et les planètes sur leurs soleils. Arrêtons les mouvements dans un être vivant, et la vie qui est liée à l'équilibre cinétique de sa substance est éteinte. Là, comme ailleurs, existent des transformations, et certains substances vivantes, les graines, les rôtifères semblent pouvoir supporter l'arrêt de leurs mouvements, et ce sont leurs facultés vitales.

Le mouvement élémentaire de la vie, le mouvement vital fondamental est celui d'un centre dynamique, celui qui est exprimé dans toute cellule vivante par l'absorption, mouvement centripète, l'élimination, mouvement centrifuge...

Nous avons vu, au chapitre: Centres dynamiques, avec quelle perfection les recherches de synthèse biologique avaient conduit à reproduire cette mécanique de la cellule vivante; nous avons vu, à l'étude de la multiplication, comment certains troubles de l'équilibre cinétique d'un centre dynamique avaient pour conséquence la karyokinèse et la segmentation. Enfin, une cellule morte diffère d'une cellule vivante, par la disparition du centre dynamique, par la dislocation de l'équilibre cinétique qui le réalise. La cellule morte peut être immobile, mais elle peut n'être pas moins animée que la cellule vivante, seulement ce ne sont plus les mouvements d'un centre dynamique, c'est le désordre, l'anarchie, la dislocation; une cellule morte est alors à une cellule vivante ce qu'une machine en démolition est à une machine en fonction.

Le mode le plus important de transformation d'énergie par les êtres vivants est la transformation de l'énergie chimique en mouvement et en travail mécanique. J'ai montré, dans *Théorie physico-chimique de la vie*, que cette transformation ne se fait pas par l'intermédiaire de la chaleur, les êtres vivants ne sont pas des machines thermiques comme nos moteurs à vapeur, à gaz, à pétrole, nos armes à feu, etc.; dans tous ces appareils, l'énergie chimique est transformée d'abord en chaleur, puis celle-ci en travail mécanique. Chez les êtres vivants, la chaleur ne semble pas être une étape, mais seulement un déchet, un résidu de la transformation.

Nous ne savons rien du mécanisme physique de la transformation de l'énergie chimique des êtres vivants en travail musculaire; j'ai montré, dans *Théorie physico-chimique de la vie*, que cette transformation était accompagnée d'une forte augmentation de la pression osmotique intramusculaire. Il semble que ce sont les méthodes de la biologie synthétique, c'est-à-dire l'étude des conditions dans lesquelles des liquides analogues à ceux des êtres vivants subissent des modifications semblables à celles de la contraction musculaire, qui doivent nous révéler le mécanisme physique de la physiologie musculaire. Du fait que, lorsque augmente la cohésion des molécules d'un liquide, celui-ci tend de plus en plus à prendre la forme sous laquelle son volume a le minimum de surface, la forme sphérique, on a supposé que, dans la contraction musculaire, il y avait augmentation de la cohésion ou, ce qui est la même chose, de la tension superficielle, par suite de laquelle la fibre tendait à prendre la forme sphérique. Cette interprétation est d'ailleurs purement hypothétique.

Jusqu'ici on ne connaissait aucun exemple de transformation directe de l'énergie chimique en mouvement, c'est-à-dire en énergie mécanique. Cette transformation cependant existe, c'est la transformation de l'énergie chimique en énergie osmotique; c'est la production dans les solutions, par les réactions chimiques, de différences de concentration, de différences de pression osmotique. Cette transformation a ceci de commun avec ce que l'on observe chez les êtres vivants que la production de la chaleur que dégagent les réactions chimiques n'est pas une étape de la transformation, mais seulement un phénomène concomitant, la chaleur se présente comme un déchet, un résidu de la transformation. C'est un fait remarquable que cette transformation de l'énergie chimique en énergie osmotique, l'une des plus importantes dans le mécanisme de la nature, en particulier de la nature vivante, ait échappé à l'observation non seulement des biologistes, mais de tous les philosophes de la nature, des physiiciens, des chimistes, des géologues, etc., au point jusqu'ici, de n'être pas mentionnée. Cependant tout point où s'accomplit une réaction chimique par suite de laquelle le nombre des molécules actives, molécules ou ions, augmente ou diminue, est un point d'augmentation ou de diminution de la pression osmotique, par conséquent, un centre dynamique provoquant des courants centripètes et centrifuges et représentant une transformation directe de l'énergie chimique en énergie mécanique. L'étude du rôle de cette transformation dans la nature, et en particulier chez les êtres vivants, à elle seule, constitue un programme incommensurable.

Au point de vue de la transformation de l'énergie chimique en travail musculaire, la physiologie se débat dans la contradiction entre l'expérience de Fick et Wislicenus qui établit que l'élimination de l'urée et la désintégration de l'albumine ne sont nullement influencées par l'exercice musculaire; et les expériences de Pflüger, dans lesquelles des chiens, nourris exclusivement d'albumine, vivent et ont une grande activité musculaire.

La contradiction n'est pas dans les faits, elle est dans l'interprétation qu'on leur donne, l'expérience de Fick et Wislicenus ne dit pas que les albumines ne concourent pas à la production du travail musculaire comme on le lui fait dire. Toute contradiction disparaît si l'on admet que la molécule albuminoïde, par une désintégration régulière que n'influence pas le travail, produit, comme on l'a constaté d'ailleurs, du glycogène qui s'accumule dans le foie et les muscles, y formant des réservoirs où le travail musculaire vient puiser son énergie; mais si les dépôts s'épuisent très irrégulièrement, par poussées, sous l'influence du travail musculaire, ils s'approvisionnent avec une régularité parfaite sur laquelle les irrégularités de la dépense n'ont aucune influence.

L'énergie chimique accumulée dans les êtres vivants s'en dégage surtout par des oxydations, tous les êtres vivants absorbent de l'oxygène et éliminent du gaz carbonique et de l'eau, produits de la combustion de leurs molécules. Une partie de l'énergie libérée par les oxydations l'est sous forme de chaleur et tous les êtres vivants ont une température supérieure à celle de leurs milieux. Ils se divisent en êtres à températures variables et êtres à températures constantes, ces derniers sont dans les conditions d'un étagement dont le niveau est maintenu fixe. Cette fixité du niveau d'eau, ou du niveau calorifique ou température, peut se réaliser par deux moyens: par un apport réglé toujours égal à l'écoulement, ou par un écoulement réglé de façon à toujours équilibrer l'apport, comme cela a lieu dans le cas d'un étagement pourvu d'un déversoir; si l'apport augmente, l'écoulement par le déversoir augmente, si l'apport diminue, l'écoulement diminue et, par ce mécanisme, le niveau est maintenu à peu près constant; c'est le mode de régulation des animaux à température constante. Chez l'homme, la production de la chaleur est très irrégulière, minimum pendant l'immobilité et le repos, elle devient très grande par l'exercice, c'est en variant l'écoulement de la chaleur que s'établit la constance de la température. La surface pulmonaire et la peau sont des déversoirs de chaleur; lorsque la production de chaleur augmente, comme cela a lieu par l'exercice musculaire ou par la maladie, l'écoulement de la chaleur par la peau augmente de façon à maintenir la constance de la température; toutefois, dans la fièvre, la régulation se fait pour une température plus élevée que la normale, la fièvre élève le niveau du déversoir. Ces différences d'écoulement calorifique, ces différentes conductibilités de la peau, sont faciles à mesurer par les vitesses d'ascension du dernier degré thermométrique: avec une grande vitesse d'écoulement, l'ascension thermométrique est rapide; avec une faible vitesse, l'ascension est lente. Le même thermomètre, employé pour différents sujets, permet ainsi d'apprécier les rapports des pertes de chaleur, ou, ce qui revient au même, les différentes conductibilités calorifiques de la peau. La conductibilité et les pertes de chaleur sont moindres chez les goutteux et les arthritiques qu'à l'état normal, bien plus grandes, au contraire, chez les tuberculeux. Chez ces derniers, la conductibilité de la peau et les pertes de chaleur sont telles qu'on les apprécie au contact, même avec une température normale; la sensation de chaleur et d'humidité donnée par le contact de la main établit une présomption de tuberculose. Le tuberculeux, même avec une température normale, produit et dégage plus de chaleur qu'un sujet sain, c'est un sujet en état d'incendie, il brûle, il se consume.

Ces notions sur la fonction de la peau comme déversoir de chaleur et régulateur de température conduisent à de précieuses utilisations thérapeutiques. La plupart des malades qui meurent de fièvre typhoïde succombent à la stagnation de la chaleur dans l'organisme, stagnation qui s'exprime par le niveau élevé et invariable de la température, ce que l'on appelle la température en plateau. Par cette constance des températures élevées, le muscle cardiaque s'altère et manifeste son altération par un trouble fonctionnel qui est un véritable collapsus, le pouls devient fréquent, petit, faible, et le malade meurt. La fréquence et la petitesse du pouls, même avec une température modérée, ont une signification bien plus grave qu'une température très élevée avec des rémissions. Comment peut-on s'étonner de ce que l'on puisse attribuer à l'élévation prolongée de la température l'altération des tissus, la production d'une myocardite thermique et de la paralysie cardiaque, quand on voit l'action de la chaleur sur les albuminoïdes changer en quelques minutes un œuf mou en œuf dur, et la température modérée mais prolongée de la couveuse changer un œuf en poulet.

Un moyen excellent, simple, constamment efficace de combattre l'hyperthermie typhoïdique, et surtout de défendre le cœur de la myocardite thermique, consiste à fixer une poche de glace d'une façon permanente sur la région précordiale recouverte d'une flanelle; immédiatement le pouls devient moins fréquent, plus fort, la température s'abaisse, les facultés cérébrales se raniment, la vitalité du sujet reparait et, chose remarquable, les médicaments antithermiques, auparavant sans effet, acquièrent tout à coup une action exagérée qui oblige à en diminuer les doses. La réfrigération précordiale est incontestablement, dans la fièvre typhoïde, le meilleur tonocardiaque et le meilleur antithermique.

Le mécanisme physique de la transformation en électricité de l'énergie chimique des êtres vivants était jusqu'ici très obscur; on sait aujourd'hui que de même que la production d'énergie mécanique osmotique résulte de l'établissement de différences de concentration, la production d'énergie électrique, ou de différences de potentiel, résulte de la production de différences de concentrations ioniques. Les solutions conductrices de l'électricité comme celles qui constituent les êtres vivants, contiennent des particules portant des charges électriques positives, les cations, et des particules portant des charges négatives, les anions; lorsque les anions et les cations sont uniformément répartis, partent en égales proportions, il n'existe aucune différence de potentiel, aucune manifestation électrique; mais si cette égalité de concentration est troublée, où prédomine la concentration des cations est une charge positive, où prédomine celle des anions une charge négative et, dans un circuit établi entre ces deux points, se produit un courant électrique avec toutes ses manifestations. C'est ainsi que la contraction musculaire, celle du cœur en particulier, donne lieu à la production de différences de potentiel et de courants électriques, ce qui indique que la contraction cardiaque est accompagnée de la production de différences de concentrations ioniques.

La connaissance du mécanisme de la production de l'électricité par les êtres vivants est donc celle des causes qui produisent les différences de concentrations ioniques. Les milieux offrent aux déplacements, à la diffusion des ions, des résistances qui varient d'un ion à l'autre et cette seule circonstance suffit à établir des différences de potentiel dans les solutions.

Nous sommes peu instruits sur le mécanisme de la production de la lumière par les êtres vivants, chez lesquels elle semble due à l'oxydation de certaines substances.

Au point de vue de l'accumulation et des transformations de l'énergie, les êtres vivants présentent à considérer les mêmes grandeurs que les accumulateurs et les transformateurs physiques, savoir: la force, la puissance, la capacité, la récupération, le rendement. Par exemple, dans la transformation en travail mécanique, la force se mesure au poids qu'un muscle peut soulever, la puissance au travail qu'il peut accomplir dans l'unité de temps, la capacité à la quantité de travail qu'il peut donner jusqu'à son épuisement, la récupération au temps nécessaire au muscle épuisé pour recouvrer sa force et sa puissance, le rendement au rapport de l'énergie utilisable à l'énergie totale transformée. Le parallélisme, la comparaison de ces grandeurs, dans les transformations physiques et chez les êtres vivants, facilite beaucoup leur étude biologique. Dans la pile électrique, nous avons la force électromotrice à laquelle correspond une force biomotrice; chez les êtres vivants, la puissance d'une pile est le produit de la force par l'intensité du courant, la capacité est la quantité d'énergie que donne la pile jusqu'à complète polarisation, la polarisation est l'analogue de la fatigue; comme l'être vivant, la pile récupère sa force et sa puissance par la chaleur; dans la pile, comme dans l'être vivant, une partie de l'énergie est transformée en une forme inutilisable, la chaleur; chez les deux, la température s'élève par le fonctionnement, le rendement s'exprime de la même manière, par le rapport de l'énergie utile à la totalité de l'énergie transformée. Pour déterminer la puissance de l'énergie potentielle chimique de la pile, il faut une excitation d'origine étrangère qui ferme le circuit. Pour transformer l'énergie potentielle chimique de l'être vivant, il faut l'excitation sensorielle provoquée par une énergie de source extérieure.

La médecine doit tendre à la mesure de toutes les grandeurs énergétiques chez les êtres vivants: la force, la puissance, la fatigue par chute de force, ou par chute de puissance, la vitesse de récupération et le rendement. Dans toutes les maladies, ces grandeurs sont altérées de façons diverses, la connaissance de l'importance, des caractères, des modes d'altération de ces grandeurs seraient d'un très précieux secours pour la médecine. Dans les paralysies, la force musculaire est réduite à zéro, elle est seulement diminuée dans les parésies et dans une foule de maladies; ce n'est pas la force, mais la puissance qui se trouve altérée dans l'urémie et dans les maladies où la fatigue se produit rapidement; dans le diabète, le rendement est défectueux. Un ingénieur apprécie avec précision le mauvais fonctionnement d'un appareil par la mesure de toutes ces grandeurs: diminution de la force, perte de puissance, abandonnement du rendement. Le médecin se borne encore à faire ce que ferait un ingénieur qui, au lieu d'effectuer ces mesures, se bornerait à apprécier l'élévation de température des surfaces frottantes, à percuter pour percevoir les changements de sonorité, à ausculter pour rechercher les frottements.

La connaissance de la bioénergétique est nécessaire au médecin praticien, qui doit diriger et régler les dépenses d'énergie dans les diverses maladies. A l'obèse, au goutteux qui prétendient que une incessante activité, il doit faire comprendre que le mouvement sans résistance, l'exercice sans travail accompli, favorise la nutrition, accroît l'assimilation, augmente les recettes et aggrave plus qu'il ne l'améliore un organisme qui souffre de trop de richesse; ce qui est nécessaire à ces malades, c'est de faire des efforts, d'accomplir du travail, de se livrer à des exercices dans lesquels ils dépensent plus d'énergie qu'ils n'en reçoivent. Les mouvements sont les mêmes pour descendre ou pour monter une côte, mais, dans le compte de l'énergie organique, la descente rapporte plus qu'elle ne coûte, la montée coûte plus qu'elle ne rapporte.

La violence de la bioénergétique est utile pour diriger le traitement des tuberculeux. Le travail excite très violemment les combustions et accélère la consommation, on impose en conséquence aux tuberculeux une immobilité absolue pendant des journées entières, étendus sur des chaises longues. C'est une exagération préjudiciable; en agissant ainsi, on diminue la dénutrition, mais aussi, et souvent dans une plus grande proportion, la nutrition; ce qui fait entendre au tuberculeux, c'est le travail mesurable en kilogrammètres, mais il ne faut pas le priver de mouvement sans travail, sans effort, de promenade en terrain plat ou en descente; cet exercice sans travail, sans fatigue, améliore la digestion et l'aération, et par conséquent, la nutrition. Si l'exercice, à vide élève trop la température, il faut recommander la voiture et surtout la carriole, moyen de mouvement passif et d'élévation sans aucune consommation d'énergie. C'est un excellent stimulant de la nutrition, ceux qui, par profession, passent leurs journées en voiture dans l'air de la campagne sont presque toujours gros.

La médecine moderne ne nous donne aucune indication sur les forces physiques qui déterminent l'absorption médicamenteuse; son enseignement est complètement empirique; on met là le médicament, et il est absorbé. La bioénergétique nous révèle deux forces physiques qui poussent les substances médicamenteuses dans les tissus et en déterminent l'absorption: une différence de pression osmotique, une différence de potentiel électrique. Si une solution de bromure de potassium est introduite dans l'estomac, il n'y aura pas d'absorption si la pression osmotique de bromure de potassium est la même dans la muqueuse gastrique et dans le sang que dans la solution; mais si, dans les tissus, la pression osmotique du bromure de potassium est inférieure ou nulle, l'absorption se fera, d'autant plus intense que la différence de pression osmotique est plus grande. Si l'on met sur la peau une solution d'iode de potassium, il n'y a aucune absorption, mais si on établit une différence de potentiel électrique en mettant le corps en rapport avec le pôle positif d'un générateur, et la solution d'iode en rapport avec le pôle négatif, quelques minutes après, en crachant sur un papier arboré et ajoutant une goutte d'acide nitrique, on a la teinte bleue de l'iode d'amidon montrant que la différence de potentiel électrique a poussé l'iode dans les tissus et dans la circulation. Partout où il y a absorption médicamenteuse, on trouve l'une ou l'autre de ces deux forces physiques en action.

Les croissances osmotiques sont des transformateurs d'énergie, elles ont en elles de l'énergie chimique et physique de tension, elles transforment cette énergie en travail mécanique, par les mouvements de la matière qu'elles absorbent, par le travail sur leurs milieux qu'elles repoussent en grandissant et se développant; étant le siège de réactions chimiques exothermiques, elles doivent dégager de la chaleur et avoir une température supérieure à celle du milieu; enfin, elles doivent produire des différences de potentiel et donner lieu à des phénomènes électriques. Elles présentent, à toutes les actions extérieures, des réactions que nous étudierons dans le chapitre sur la sensibilité.

Nos études de dynamique, de cinétique, d'énergétique, de morphogénie et de physiogénie conduisent à une théorie complète de la cellule vivante, en harmonie avec les faits, et bien propre à diriger l'expérience pour combler les lacunes qui restent dans l'enchaînement des phénomènes.

Jusqu'ici on a tenté de caractériser la cellule par son anatomie, chacun de ses organes a été considéré comme caractéristique de la cellule, mais on a constaté l'existence de cellules manifestant des propriétés vitales et auxquelles manquait l'un quelconque des organes prétendus caractéristiques. Par ce fait, la cellule vivante est aujourd'hui sans fixes morphologiques. D'ailleurs, la morphologie, à elle seule, ne saurait caractériser un mouvement morte, coagulée, fixée. La véritable caractéristique d'une cellule vivante ne peut se trouver que dans les mouvements dont elle est le siège et qui sont une conséquence de sa morphologie: dans l'association, l'harmonie, l'ordre, la succession de ces mouvements. Nous avons vu que ces mouvements sont ceux d'un centre dynamique, toute cellule vivante absorbe et élimine, et la caractéristique qui échappe à la cellule vivante en morphologie, elle la retrouve dans sa cinèse, toute cellule vivante est le siège d'un centre dynamique. La possibilité de produire, en dehors de la vie, des centres dynamiques dans les liquides, est le principal passage, le plus important intermédiaire entre le monde vivant et le monde minéral.

Nous savons que la cellule vivante est un centre dynamique, que tout foyer de réaction chimique produit un centre dynamique, que la cellule vivante est un foyer de réactions chimiques, que ce foyer est provoqué et entretenu par des actions extérieures de deux sortes: excitations assimilatrices et excitations désassimilatrices. Le seul énoncé de ces faits représente une théorie de la cellule vivante.

On sait aujourd'hui que les réactions chimiques ne sont jamais complètes comme on le croyait autrefois, elles s'arrêtent dans un certain équilibre lorsque les corps réagissants et les produits de la réaction sont dans une certaine proportion. Beaucoup d'influences chimiques ou physiques déplacent l'équilibre dans un sens ou dans l'autre, combinant les corps en présence ou décomposant les produits de la réaction.

Les cellules vivantes se présentent comme des foyers de réactions en équilibre, les excitations assimilatrices ou désassimilatrices poussent dans un sens ou dans l'autre, les réactions sont hétérodromes, la désassimilation se fait autrement que l'assimilation, puisque les produits éliminés ne sont pas les mêmes que ceux absorbés. Ces réactions produisent dans les cellules des variations de concentration des molécules actives, et ces variations entretiennent les centres dynamiques d'où résultent l'absorption et l'élimination.

Ainsi, les méthodes de la biologie synthétique conduisent à une théorie de la cellule vivante, plus complète, plus satisfaisante qu'aucune de celles qu'avaient données les méthodes jusqu'ici employées.

PHYSIOGÉNIE DE LA SENSIBILITÉ

A l'époque où j'écris, rien ne soulève de plus unanimes et véhémentes protestations que d'appeler étude de la sensibilité, des études faites avec des substances purement minérales; c'est ce que les plus bienveillants appellent: se laisser emporter par son imagination à compromettre d'intéressantes recherches. Je ne puis cependant voir dans ces objections que l'influence de l'éducation, qu'une habitude de penser, une sorte de superstition vitaliste qui ne peut changer sa direction et admettre le physicisme en biologie, ou bien une inconséquence; car la sensibilité est nécessairement un phénomène physique, ce sont des modifications physiques que produisent les excitations; leur transmission, l'influx nerveux, ne peut être qu'un changement physique qui se propage dans les tubes nerveux. Cette opposition si véhémente et si unanime est encore l'expression du mysticisme qui s'oppose au physicisme. On prétend étudier la sensibilité tactile, et l'on ignore la physique des contacts; on dit vouloir connaître la transmission de l'influx nerveux et l'on ignore la transmission des changements physiques dans les liquides comme ceux dont sont formés les nerfs. La vraie voie qui doit conduire la physiologie à son but est celle suivie dans cet ouvrage. Quand on connaît bien les modifications de tous les liquides, sous toutes les influences, contacts, chaleur, lumière, électricité, etc., quand on connaît le mode de transmission, de propagation de ces modifications, l'interprétation physique des phénomènes viraux sera des plus faciles, la physiologie atteindra son but. On verra, dans ce chapitre, qu'avec des substances purement minérales, on peut reproduire identiquement plusieurs phénomènes que tous les physiologistes considèrent et étudient comme des manifestations de la sensibilité, et dont ils font même les bases de la psychologie.

On appelle sensibilité ou irritabilité la façon dont les êtres vivants reçoivent les actions s'exerçant de l'extérieur et y répondent. On a fait et on fait encore de la sensibilité une des principales caractéristiques de la vie. Sentir, dit-on, est un privilège des êtres vivants. La sensibilité jusqu'ici n'a été considérée et étudiée qu'au point de vue vitaliste, on ne l'a pas encore considérée au point de vue physique.

Chaque phénomène est une transmission ou une transformation d'énergie, déterminée par des phénomènes antérieurs qui sont ses causes. Dans la transmission, le récepteur reçoit de l'énergie de même nature que celle du transmetteur: lorsque, par exemple, un homme reçoit une poussée, il se déplace et la transmet; il s'échauffe au contact d'un corps chaud; dans tous ces cas, l'énergie est simplement communiquée aux êtres vivants de la même manière et par les lois suivant lesquelles elle se transmet entre les corps anorganiques. Pour ce cas de l'énergie transmise, il n'y a aucune différence entre les réponses, les réactions des êtres vivants sont les mêmes que celles des minéraux.

En ce qui concerne le cas de la transformation de l'énergie, nous avons vu que les êtres vivants sont des accumulateurs, des réservoirs d'énergie potentielle chimique, et que les excitations consistent dans l'intervention de petites quantités d'énergie excitatrice d'origine extérieure qui provoquent le dégagement et les manifestations de l'énergie accumulée, sans qu'il existe aucune proportionnalité entre la quantité d'énergie excitatrice et l'énergie potentielle libérée et transformée. Cette définition précise du mécanisme physique de la sensibilité est importante pour les progrès ultérieurs de la physiologie. La disproportion entre les excitations et les réponses des êtres vivants a toujours été présentée comme un phénomène merveilleux. Un mystère expliqué n'existe plus et, avec le mystère, disparaît le merveilleux.

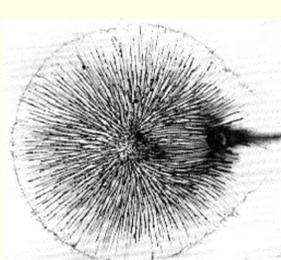


Fig. 86 - Modification du champ d'un centre dynamique par le contact d'une tige de verre.

La sensation tactile, celle qui résulte du contact des objets, est la sensation la plus simple. A la question: quelles sont les modifications physiques d'une cellule par le contact des objets extérieurs? la physiologie, avec ses méthodes actuelles, reste muette. Les méthodes de la biologie synthétique permettent à notre esprit de jeter un regard sur ce domaine jusqu'ici inaccessible et mystérieux. Toutes les cellules vivantes sont des centres dynamiques; si nous savons comment un centre dynamique est modifié par un contact, nous serons renseignés, en partie au moins, sur les modifications physiques que doit éprouver une cellule, cellule vivante, cellule nerveuse, sous l'influence d'un contact. Étendons sur une plaque de verre une solution saline, un sérum artificiel ou naturel, déposons sur ce liquide une goutte d'eau teintée, elle forme un centre dynamique, et nous avons l'image d'une cellule vivante, animée, entourée de la membrane que lui forme la tension superficielle. Touchons la surface avec la pointe arrondie d'une tige de verre, et nous voyons (figure 86) les lignes des forces cellulaires converger vers ce contact, comme vers un centre dynamique, comme vers un pôle. Ce contact est en effet un centre dynamique; par suite de l'attraction moléculaire ou cohésion, cette attraction entre le verre et l'eau est plus grande que celle que présentent les molécules d'eau entre elles; c'est pourquoi, lorsqu'on soulève une tige de verre plongée dans l'eau, la séparation ne se fait pas entre le verre et l'eau, la tige emporte une goutte d'eau qu'elle arrache aux autres molécules. C'est cette force de cohésion, d'attraction qu'exerce notre tige de verre sur les courants de la goutte d'eau teintée, attraction si bien exprimée par les lignes de force enregistrées par la photographie. Si nous mettons au contact d'une cellule artificielle avec son centre dynamique, une substance qui exerce sur les molécules d'eau une attraction moindre que celles qu'elles exercent les unes sur les autres, le résultat est tout autre, le contact représente un obstacle, ou même un centre de répulsion pour les courants d'eau teintée, ainsi que le montre la figure 87, photographie de l'action d'une tige paraffinée sur le centre dynamique formé par l'eau teintée dans une solution saline. Les conditions de ces expériences sont celles du contact d'une cellule vivante, d'une cellule nerveuse, avec les objets extérieurs; le phénomène n'est pas particulier, c'est un phénomène général, il doit donc se produire dans chaque cellule vivante en même temps que la sensation tactile. Un fait remarquable est que l'influence dynamique de contact, due aux actions moléculaires d'étendue infiniment petite, se propage cependant très loin à des distances qui sont des milliers de fois plus grandes que celles des actions moléculaires. Cette transmission éloignée d'actions d'un champ si restreint se fait de proche en proche, de molécule à molécule, et l'on comprend de quelle utilité est l'acquisition de ces notions pour aborder l'étude physique de l'influx nerveux.

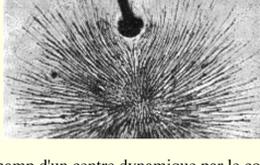


Fig. 87 - Modification du champ d'un centre dynamique par le contact d'une tige de paraffine.

Les physiologistes considèrent comme la forme élémentaire de la sensibilité des êtres vivants les tropismes et les tactismes, c'est-à-dire les cas dans lesquels les réponses aux actions extérieures, ou excitations, sont des mouvements d'orientation et de translation. C'est le professeur Pfeffer qui a introduit ces expressions dans la science et défini les tactismes ou taxis, mouvements de translation, et les tropismes comme des mouvements d'orientation; mais aujourd'hui on emploie ces expressions sans leur appliquer cette distinction et l'on applique le mot tropisme aux deux cas.



Fig. 88 - Attraction de particules de charbon en suspension dans une solution aqueuse, par un fragment de nitrate de potassium.

La physiologie présente, comme expérience typique de manifestation élémentaire de la sensibilité des êtres vivants, l'expérience du professeur Pfeffer, dans laquelle des anthérozoïdes de fougère, en suspension dans l'eau, se dirigent vers un petit tube placé dans cette eau, et renfermant de l'acide malique; cette intéressante expérience, fréquemment qualifiée d'admirable, est actuellement, par tous les biologistes, considérée comme la manifestation d'un phénomène essentiellement vital et cette opinion n'a jamais rencontré la moindre contestation. On donne à la sensibilité ainsi manifestée le nom de chemo ou de chimiotactisme. On peut, avec des substances purement minérales, reproduire exactement l'expérience du professeur Pfeffer: on met un cristal de nitrate de potassium dans une solution étendue du même sel et, à deux centimètres environ, une goutte d'eau teintée d'encre de Chine; on voit les particules de charbon se mettre en mouvement et se diriger vers le nitrate de potassium. La figure 88 est la photographie de cette expérience, toutes les particules de charbon de la goutte se sont réunies dans un cône dont le sommet est le fragment de nitrate de potassium vers lequel avance le charbon pour s'y accumuler. Les deux phénomènes sont tellement semblables que les photographies de l'un pourraient servir à la description de l'autre.



Fig. 89 - Photographie des courants dits de chimiotropisme, les signes + et - s'appliquent aux concentrations.

Les substances purement minérales manifestent le chemotropisme avec la plus grande perfection. La figure 89 est une expérience semblable à la précédente, avec une distance différente entre la goutte d'eau teintée et le fragment de nitrate de potassium et elle correspond à une période différente du phénomène.

Le chemotropisme, unanimement considéré comme un phénomène vital, s'observe absolument identique avec les substances minérales.

En réalité, la biologie synthétique nous révèle là le mécanisme physique d'un phénomène vital. La différence de pression osmotique entre l'acide malique dans l'expérience de Pfeffer, le nitrate de potassium dans notre expérience et le reste du liquide, détermine dans toute la masse des courants d'eau convergeant vers la concentration la plus forte et qui entraînent les anthérozoïdes dans un cas, les particules de charbon dans l'autre. Le chemotropisme est, en réalité, de l'osmotropisme.

Mais, diront les vitalistes, il y a un choix dans les réponses des êtres vivants à une même excitation, tandis que les spores de fougères sont très sensibles à l'acide malique, les spores de mousses lui restent absolument indifférentes. Les substances minérales nous montrent identiquement les mêmes différences; tandis que les particules de charbon et les poudres diverses bien mouillées par l'eau sont toujours entraînées par les courants osmotiques, les bulles d'air, bien plus légères, restent absolument indifférentes, immobiles au milieu de ces courants qu'elles font dévier de part et d'autre, comme un rocher au milieu d'un torrent. La figure 90 est la photographie de ce curieux phénomène.



Fig. 90 - Photographie d'une bulle d'air immobile au milieu de courants osmotiques.

Rien ne montre mieux, que ces expériences, les conséquences pour la physiologie et la médecine des erreurs enseignées relativement à la diffusion des liquides que les phénomènes de la vie, phénomènes d'organisation, de sensibilité, etc., sont dus aux courants de diffusion jusqu'ici si parfaitement ignorés. En particulier, les conditions du chemotropisme ne peuvent exister sans courants de diffusion; le chemotropisme, présenté par tous les auteurs comme une curieuse manifestation vitale, est toujours l'osmotropisme dont le mécanisme pléysique bien précis est révélé par nos expériences.

Il est évident que les mêmes phénomènes de courants osmotiques, d'orientation et de mouvements, de la cobésion de concentrations diverses, ont également lieu dans les liquides des êtres vivants, dans le sang, dans la lymphe, dans les cytoplasmes cellulaire. Nos expériences offrent l'interprétation physique d'un grand nombre de phénomènes viraux et pathologiques, tels que les attractions vers certains points des particules en suspension, globules, microbes, granulations, de la concentration des leucocytes, du phénomène de l'agglutination, etc. La découverte du mécanisme physique d'un phénomène si répandu, si commun chez les êtres vivants, fait ressortir l'utilité pratique de la biologie synthétique.

Comme on pouvait s'y attendre, les phénomènes de diffusion sont sensibles aux différences de température, mais, en ce qui concerne la diffusion d'eau teintée dans une solution saline, l'action est inverse de ce que l'on eût été enclin à penser; si, dans une solution saline, on place une goutte chaude de cette même solution, et, à une petite distance une goutte d'eau teintée, on constate que la diffusion de l'eau est retardée dans la région chaude qu'elle offre, aux courants, une résistance plus grande que les autres parties du liquide, ce qu'explique d'ailleurs la diminution de la cohésion par la chaleur, qui agit sur les courants de diffusion comme une tige paraffinée; si, au contraire, dans une solution saline, on met une goutte plus froide de cette même solution et, aux environs, une goutte d'eau teintée, les courants de diffusion sont attirés vers la région froide où la cohésion est plus forte. Les substances minérales, dans ces expériences, présentent donc un thermotropisme négatif. Il est inutile d'insister pour montrer de quelle utilité est la connaissance de ces faits pour l'interprétation des actions de la chaleur et du froid sur les êtres vivants.

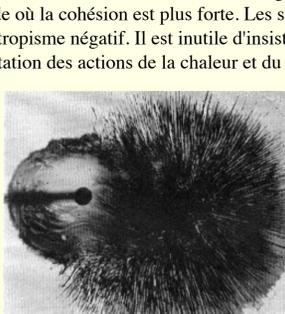


Fig. 91 - Action des vapeurs d'alcool sur un centre dynamique, dans une solution saline. La tige, préalablement trempée dans l'alcool, est à deux centimètres de la solution.

La biologie synthétique doit ouvrir la voie à l'étude expérimentale de la physique et de la mécanique de toutes les formes de la sensibilité. Les cellules olfactives sont des centres dynamiques sur lesquels agissent des émanations, des vapeurs ou des gaz; pour savoir ce qui peut se passer, faisons agir des vapeurs sur un centre dynamique. Dans une solution saline, je mets une goutte d'eau teintée d'encre de Chine, j'ai un centre dynamique, l'image d'une cellule vivante avec son animation intérieure. Je prends une tige de verre dans de l'alcool absolu et je l'applique au centre dynamique; les vapeurs d'alcool, émanées de la tige de verre, vont, par les voies les plus courtes, vers la solution saline où elles se dissolvent en diminuant la cohésion et l'on voit les lignes de diffusion du centre dynamique s'écarter de l'endroit où arrivent les vapeurs d'alcool. La figure 91 est la photographie du phénomène prise avec la tige à environ deux centimètres du centre dynamique. Chacune des expériences que je présente est un exemple représentant une méthode de nombreuses recherches expérimentales; il est évident que l'expérience précédente peut et doit être faite pour chaque vapeur, pour chaque gaz, pour chaque émanation, si l'on veut connaître leur action sur les centres dynamiques et interpréter les différences des sensations olfactives. Cette observation s'applique à l'étude de chaque forme de la sensibilité.

GÉOGÉNIE - BIOGÉNIE

D'après la cosmogonie scientifique, toute la substance du soleil et des planètes, à l'état de vapeur ou de nébuleuse, occupait autrefois un espace d'un rayon plus grand que celui du soleil à la planète la plus éloignée. Cette vapeur s'est progressivement condensée, ce qui a élevé sa température à un degré auquel toutes les substances sont à l'état liquide, à l'état de fusion, comme nous le montre encore aujourd'hui le noyau condensé qui forme notre soleil. Les planètes et la terre se sont donc détachées du soleil à l'état de liquide incandescent; les planètes, les soleils, ne sont que des gouttes de liquides évoluant dans l'espace, et rien n'est plus propre à nous révéler leur évolution que l'étude de la physique des liquides. La condensation des nébuleuses, la séparation des planètes et de leurs satellites est, au point de vue mécanique, analogue aux phénomènes de cohésion et de segmentation que nous avons étudiés dans les liquides, et suggère que, si au lieu d'un champ de forces rayonnantes, nous produisons, dans les liquides, un champ tourbillonnaire, les analogies deviendraient plus grandes encore.

La température de la terre, au début de son évolution, était extrêmement élevée, voisine de celle de l'arc électrique, et sa masse était à l'état de fusion. Or, les combinaisons chimiques, stables à cette température, ne sont pas celles que nous connaissons à la température actuelle; ce ne sont pas les oxydes, les silicates, les carbonates, les phosphates, les azotates, mais bien les siliciures, les carbures, les phosphures, les azotures. La première croûte de la terre, avant la condensation de l'eau, devait donc être formée de ces roches. Lorsque l'eau commença à se condenser, toute l'écorce anhydre, toutes ces roches entrèrent en réaction avec l'eau. Ces réactions donnèrent naissance à une grande quantité de substances organiques, comme l'acétylène, formé par l'action de l'eau sur le carbure de calcium. Le chimiste Mendéléïf pensait que les couches profondes de l'écorce terrestre sont encore formées de ces roches, et que les naphthes et les pétroles sont produits par l'action sur elles de l'eau d'infiltration. Un de nos concitoyens, M. H. Lénique, a publié, à la librairie Hermann, une géologie fondée sur ces vues. Pendant une période immense, la surface de la terre a nécessairement été le siège d'incessantes et innombrables réactions entre les roches anhydres de sa surface et l'eau qui se formait et se condensait.

Lorsque la terre s'est refroidie au-dessous de 100 degrés, la première eau qui s'est déposée à sa surface s'y est nécessairement trouvée dans des solutions saturées de sels minéraux et de substances organiques. Pendant toute l'immense période entre la condensation de l'eau et la formation des roches primaires, la température étant au-dessus de 40° centigrades, la croûte de la terre étant recouverte et imprégnée de toutes les substances solubles qui depuis se sont fixées par précipitation, les mers étaient des solutions salines concentrées, saturées de substances organiques; l'atmosphère était non seulement chargée de vapeur d'eau et de gaz carbonique, fixé depuis dans les roches à l'état de carbonates, mais encore de carbures gazeux, de produits ammoniacaux et nitrés, et de tous les gaz dégagés par les réactions de l'eau avec les roches. Aux températures élevées qui régnaient alors, toutes les conditions des orages étaient réunies, et l'atmosphère devait être incessamment le siège de formidables décharges électriques, qui sont de puissants agents de synthèse; c'est par elles qu'aujourd'hui nous engageons l'azote en combinaisons. Pendant toutes ces périodes, il se forma nécessairement une grande quantité de substances organiques, sur toute la surface de la terre, et, au moment de l'apparition de la vie aux époques primaires et secondaires, les mers où s'élaborèrent les premières manifestations de la vie, où sont apparus les premiers êtres, furent des solutions salines concentrées, à des températures de 30 à 50° centigrades, chargées de substances organiques, surmontées d'une atmosphère plus complexe et plus lourde qu'aujourd'hui, siège de constants orages et de puissants éclairs. La plus grande partie de la substance qui forme la croûte terrestre les roches sédimentaires, les dépôts salins, les carbonates, beaucoup de silicates, la matière des êtres vivants, a passé, à une période d'évolution de la terre, par l'état de suspension ou de solution. Dans ces conditions, la physique des liquides, les effets dynamiques, cinétiques, morphogéniques qui s'y produisent ont eu une influence absolument prépondérante sur la formation de la terre, sur la genèse des minéraux et du monde organique. Or, les notions dont ont disposé jusqu'ici les sciences naturelles, à ce sujet, sont contraires à la réalité; il est inexact d'enseigner que la diffusion se fait de la même manière dans tous les milieux, dans les colloïdes, dans les solutions de cristalloïdes, comme dans l'eau pure; partout existent, à la diffusion, des résistances diverses dont on n'a jamais tenu compte; c'est donner un enseignement inexact de dire que les liquides se mélangent d'une façon homogène, de proche en proche; il est inexact de présenter l'osmose comme un phénomène essentiellement différent de la simple diffusion; on n'avait jamais vu les courants de diffusion qui, dans la formation de la nature minérale et organique, ont un rôle absolument prépondérant; ce sont eux qui ont donné à la surface de la terre ses formes, ses structures, son organisation. On ignorait complètement l'existence dans les liquides des centres dynamiques, dont la connaissance est la clé de l'explication et de la compréhension de presque tous les phénomènes naturels; on ne pouvait, par conséquent, connaître la production de ces centres dynamiques par toutes les actions physiques et chimiques. On n'avait pas aperçu la transformation directe de l'énergie chimique en énergie mécanique par la production de différences de concentration. On ignorait complètement les effets morphogéniques si remarquables de l'osmose. La connaissance de ces faits nouveaux, de ces lois nouvelles permet, dès les premiers essais, de reproduire avec une perfection indiscutable, par le jeu des forces physiques, un nombre très grand de formes et de structures organiques et minérales et, en présence de ces résultats, les savants disent: "ce sont des jeux de laboratoire".

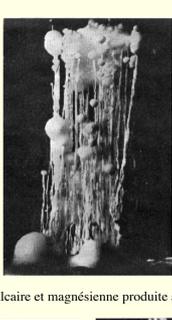


Fig. 98 - Roche fibreuse calcaire et magnésienne produite artificiellement par osmose.



Fig. 99 et 100 - Madrépores calcaires produits artificiellement par osmose.

Cependant les pierres poussent et jusqu'ici la géologie n'a tenu aucun compte de ce fait, elle a complètement ignoré ce qui, nécessairement, a eu un rôle prépondérant dans la formation des roches, un rôle qui, dans la formation de la terre, a dû l'emporter sur celui de la cristallisation à laquelle on a accordé tant d'attention et de travaux. Sans être géologue, on entrevoit dans la simple contemplation des roches, dans leurs apparences, dans leurs formes, dans leurs structures, les actions osmotiques et leur intervention dans la formation de la croûte terrestre aussi bien que celles de la cristallisation et de la sédimentation exclusivement étudiées jusqu'ici. On aperçoit l'action des forces osmotiques dans la formation des roches fibreuses, la figure 98 est la photographie, au quart de sa grandeur normale, d'une roche fibreuse, calcaire et magnésienne, formée par osmose. On voit ces actions osmotiques en jeu dans la formation des atolls, des récifs de coraux et de madrépores. Les figures 99 et 100 sont des photographies de madrépores calcaires produits par osmose; et les figures 101 et 102 sont les photographies de productions osmotiques coralliformes. Beaucoup de formes de roches, actuellement énigmatiques, peuvent être reproduites en dirigeant les forces osmotiques. Au Natural History Museum, South Kensington, dans la salle de minéralogie, parmi les cristallisations calcaires et magnésiennes, il existe des roches semblables à la figure 101, provenant de Eisenarz, Allemagne. Il est facile de reproduire, par croissance osmotique, beaucoup de roches sur la formation desquelles on n'a jusqu'ici aucune opinion. Je dois à l'amabilité de M. George Abbot, FGS, de belles photographies de roches de la carrière de Tulwell Hill, Sunderland, qui expriment clairement l'action des centres dynamiques dans leur formation, et dont les aspects sont énigmatiques si l'on ignore les formations osmotiques. La connaissance des centres dynamiques dans les liquides et des lois véritables de l'osmose, non seulement permet de comprendre ces formes, mais encore de les reproduire ainsi que le montrent les photographies.



Fig. 101 - Production osmotique coralliforme.

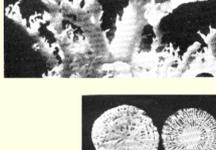


Fig. 102 - Corail osmotique.

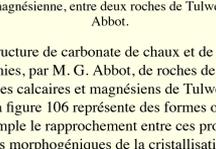


Fig. 103 - Production osmotique calcaire et magnésienne, entre deux roches de Tulwell Hill, Sunderland, photographées par M. G. Abbot.

La figure 103 est une photographie de structure de carbonate de chaux et de magnésie produite par osmose dans mon laboratoire, placée entre deux photographies, par M. G. Abbot, de roches de Tulwell Hill. La figure 104 est la photographie, par M. G. Abbot, de nodules calcaires et magnésiens de Tulwell Hill, et la figure 105 la photographie d'une de mes productions osmotiques. La figure 106 représente des formes oolithiques et paléozoïques de productions osmotiques. Quand je contemple le rapprochement entre ces productions de l'osmose et celles de la nature, je me demande en quoi les actions morphogéniques de la cristallisation, qui ne s'appliquent qu'aux pierres, ont plus d'intérêt que les actions morphogéniques de l'osmose qui s'exercent dans le monde minéral et dans le monde vivant.

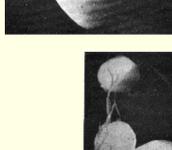


Fig. 104 - Roches de Tulwell Hill.



Fig. 105 - Production osmotique semblable aux roches de Tulwell Hill.



Fig. 106 - Formes paléozoïques et oolithiques produites par osmose.

Comment est apparue, comment a pu apparaître la vie sur la terre? On a proscrit l'étude de cette question en la prétendant définitivement tranchée par l'expérience d'Appert, utilisée par Pasteur, contre les générations spontanées, expérience dans laquelle les substances organiques stérilisées, conservées dans un vase fermé, restent stériles. C'est admettre que la vie ne peut pas apparaître dans d'autres circonstances, dans d'autres conditions, dans un autre milieu, que dans des substances stérilisées en vase clos. C'est circonscire l'étude de l'origine de la vie à la boîte de conserve d'Appert, dans laquelle on la tient enfermée depuis plus de cinquante ans.

Dans ma brochure sur les bases physiques de la vie, 1906, j'écrivais: "La terre avait autrefois un état où elle était incandescente avec la vie, c'est lorsqu'elle s'est refroidie que les êtres vivants sont apparus; il a bien fallu qu'ils naissent spontanément des matériaux terrestres. La question des générations spontanées existe, il n'est au pouvoir de personne de la supprimer. Il est stupéfiant que les expériences de Pasteur aient pu l'éteindre si complètement pendant plus de trente ans". Depuis cette brochure sur les bases physiques de la vie, bien des publications témoignent d'un changement d'opinion sur ce sujet.



Fig. 107 - Paysage osmotique, formes marines.

Si l'on admet les enseignements de l'astronomie, de la cosmogonie, de la géologie; si notre terre s'est détachée incandescente du soleil, à une température à laquelle aucune vie ne peut exister; il faut, qu'à un moment donné, la vie soit apparue sur la terre suivant l'ordre des phénomènes naturels, par l'action des forces physiques. Cette conclusion s'impose et nous devons, par l'étude des documents naturels, et par l'expérimentation, chercher à connaître le mécanisme des phénomènes par lesquels la vie a pu se produire. Il me paraît inconcevable de croire de notre ignorance de ce mécanisme par la non apparition de la vie sur la terre par les forces naturelles. Quel raisonnement que celui qui consiste à admettre que tout ce que nous ignorons n'existe pas! Nous saurions tout, il n'y aurait plus de progrès à réaliser, plus de problèmes à résoudre; malgré des données les plus logiques, le problème ne pourrait pas, ne devrait pas être posé, car, puisque nous en ignorons la solution, le problème n'existerait pas! Comment ceux qui admettent l'évolution ont-ils pu, ou peuvent-ils rejeter l'étude de l'apparition de la vie sur la terre? La chaîne de l'évolution ne saurait être brisée; si elle existe, elle est nécessairement continue, non seulement des vertébrés à la monère, mais encore et surtout de celle-ci au monde minéral. L'étude de l'origine de la vie, des conditions qui régnaient au moment de son apparition, de la façon dont elle aurait pu se développer par les forces naturelles est du domaine de la biophysique.



Fig. 108 - Paysage osmotique, formes terrestres.

Depuis la renaissance de la question de l'origine de la vie, les savants modernes disent qu'elle vient des étoiles, sous forme de germes microscopiques, ou plutôt ultramicroscopiques, apportés par des météorites, ou par la pression de la lumière, à travers les espaces interplanétaires, où règne une température voisine de celle du zéro absolu, 273 degrés au-dessous du zéro centigrade, et où ces germes ultramicroscopiques, tombés des étoiles, deviendraient ensuite tous les êtres qui peuplent la surface de la terre, y compris l'homme. Pour se soustraire à la nécessité d'admettre, soit l'apparition de la vie sur la terre par le jeu des forces physiques, soit le miracle, on va même le problème aux étoiles, ce qui ne saurait faciliter l'étude du mécanisme de l'écllosion de la vie. Il est plus vraisemblable, plus stimulant pour la recherche, plus scientifique, d'admettre le développement de la vie sur la terre par le jeu des forces naturelles, à une période de son évolution à laquelle se trouvaient réalisées les conditions favorables.

Notre science est jeune et peu étendue. On fait remonter à Lichat la création de l'anatomie générale et l'étude des tissus; il n'y a pas un siècle que s'est fondée la théorie cellulaire et que l'on connaît la structure des êtres vivants. On a complètement ignoré jusqu'ici les facultés organisatrices si étendues, si remarquables, des forces physiques. On regardait l'organisation de la matière avec une sorte de superstition; l'organisation, le tissu cellulaire, la cellule, c'était le temple du mystère, du mystère inaccessible, intangible; c'était un sacrilège de chercher à en comprendre la formation, d'essayer de les reproduire; dans l'état des esprits, se consacrer à une tâche pareille ne peut être que l'acte d'un fou téméraire et audacieux. Si, en dehors des êtres vivants, dans les liquides, dans des conditions d'expériences nouvelles, on voit se produire des formes, des structures, des phénomènes analogues à ceux présentés par les êtres vivants, on dit: c'est impossible parce que cela ne se peut pas, l'organisation ne peut exister, ne peut se produire que chez les êtres vivants, toute cellule ne peut provenir que d'une cellule vivante, ce qui n'en vient pas, quoique semblable, n'est pas une cellule.



Fig. 109 - Paysage osmotique exclusivement composé de productions physico-chimiques.

Il est évident que dans un état pareil de complète méconnaissance des facultés organisatrices des forces physiques, devant lesquelles on ferme les yeux comme devant la lumière du soleil, on ne peut admettre la recherche de l'origine des êtres vivants. Il est extrêmement difficile, à l'esprit humain, de sortir, en des vies dans lesquelles la mis on son éducation; ce qu'on appelle l'étude de l'origine de la vie est toujours d'une part le miracle, de l'autre l'histoire des genouilles naissant de la boue, des souris de vieux chiffons, des vers de la viande en putréfaction, et des microbes des infusions organiques. Ceux qu'intéresserait l'histoire de cette question la trouveront très étendue, très bien exposée, dans l'étude que a publiée M. le docteur Hector Grasse, de Rouen.

La question de la biogénie et de l'origine des êtres a été jusqu'ici mal posée. Ce qu'il faut se demander est: les forces physiques peuvent-elles produire des formes, des structures, des fonctions, semblables à celles des êtres vivants, comment, et dans quelles conditions? Telle est la forme sous laquelle peut être posée utilement la question de l'origine de la vie sur la terre. Or, les facultés morphogéniques, organisatrices des forces physiques en jeu dans les liquides, sont des plus remarquables, des plus puissantes. Étudiées dans les conditions les plus défavorables, avec les ressources les plus réduites, renfermées dans les limites les plus étroites, les moins propices de température et de pression, elles donnent cependant des formes, des structures, des fonctions ayant avec celles des êtres vivants les plus grandes analogies, non seulement dans quelques productions, mais dans un nombre très grand de variétés, en particulier dans des productions polycellulaires bien plus compliquées que beaucoup d'êtres vivants, ainsi que l'attestent les figures de cet ouvrage.

Aux pionniers de la doctrine de l'évolution, à Lamarck, à Darwin, à Hæckel revient le mérite d'avoir fait rentrer les phénomènes de la vie dans le domaine du physique, et pour qui connaît les conséquences d'explorer ouvertement, de maintenir et de défendre ce que l'on entrevoit comme des vérités, ces hommes sont des héros, et recevront toujours les hommages respectueux de ceux qui ont le culte de l'effort, du sacrifice désintéressé à la vérité et au progrès. Après eux, la foule des naturalistes est entrée dans la voie qu'ils avaient ouverte, la doctrine de l'évolution est devenue une orthodoxie, s'en écarte une hérésie. Cependant, cette doctrine de l'évolution trouve dans les faits bien des démentis que l'on masque; elle admet la différenciation des êtres, leur modification par l'action du milieu, Lamarckisme, ou par des circonstances restées indéterminées, Darwinisme, ou par des variations brusques de causes également indéterminées, de Vries. Les variations ainsi acquises doivent être transmises par l'hérédité et accentuées par la sélection. Mais l'hérédité conserve toujours les caractères ancestraux, ou n'a jamais pu transmettre une seule variation acquise. Les différences utilisées par les éleveurs, pour créer les variétés et sur lesquelles Darwin a fondé sa doctrine, ne sont pas des modifications acquises, mais bien des variétés innées que présentent quelques individus. L'hérédité maintient les types, toujours nous la voyons exercer une action absolument opposée à celle que lui attribue la doctrine de l'évolution.

La doctrine nous enseigne que, dans le temps, tous les êtres sont dérivés d'une forme très simple, d'une même cellule, et l'on établit un arbre généalogique avec cette cellule primitive pour tronc, et toutes les espèces actuelles pour rameaux. On enseigne que le développement de chaque être, à partie d'une cellule initiale, l'ovule, jusqu'à sa forme complète, est la répétition du développement de la race entière depuis la cellule primitive, que l'embryon passe successivement par toutes les formes assumées par ses ancêtres. Mais tandis qu'en fait l'ontogénie, on fait dériver de la cellule primitive les êtres les plus différents, en ontogénie, chaque cellule embryonnaire, chaque ovule a une évolution bien déterminée, toujours dans la même direction, toujours donnant le même être, et chaque ovule provenant d'être différents, quoique n'étant qu'une simple cellule, donne un être différent. Pour se conformer aux enseignements de l'ontogénie, il faut admettre qu'il s'est formé à l'origine un grand nombre de cellules primitives diverses donnant des êtres différents non susceptibles de croiser entre eux. Pour se mettre non pas en contradiction, mais en conformité avec les faits, il faut admettre que dans chaque lignée d'êtres, les formes étaient stables ou à peu près et que l'hérédité tendait toujours à maintenir ces formes, et à empêcher les modifications par transmission des variations acquises. Seules les différences individuelles héréditaires et non acquises peuvent être transmises par l'hérédité, d'après les lois de Mendel, et accentuées par la sélection, mais non fixées dans la descendance, dont la tendance à revenir aux types ancestraux communs est désignée sous le nom d'atavisme. Cet exposé, qui constitue une doctrine, n'est pourtant que la rigoureuse expression des faits. L'esprit se rebelle à admettre que des ovules primitifs aient pu subir l'évolution rapide qui conduit à l'être achevé; il est pourtant deux faits de grande valeur, l'un de connaissance ancienne et l'autre tout récent, qui concourent pour imposer cette opinion. Ce développement rapide, de l'ovule à l'œuf, que l'esprit se refuse à admettre, se produit tous les jours sous nos yeux, non seulement dans les matrices maternelles, mais dans les eaux où le poisson dépose ses œufs, dans la terre où le laboureur sème sa graine; il suffit de la seule élévation de température, pour que, devant nous, la simple cellule constituant un œuf se change en oiseau. Le second fait est l'action organisatrice des forces physiques dans les liquides; cette action, jusqu'ici inconnue, est susceptible de donner des productions présentant les formes, les structures, les fonctions d'êtres vivants très compliqués; cette étude, à déjà donné les résultats les plus suggestifs. Que ne donnera-t-elle pas lorsque, encouragée, elle sera poursuivie par un grand nombre de chercheurs dans des conditions très variées?

L'un des principaux faits invoqués en faveur de la doctrine de l'évolution, est la découverte d'une grande quantité de formes intermédiaires, démontrant un passage graduel, presque continu d'un type à un autre. Mais cette constatation est susceptible d'une toute autre interprétation. Tous les êtres vivants se sont formés dans des conditions non semblables, mais analogues, ils ont été construits par les mêmes forces, suivant les mêmes lois, ils sont, par conséquent, tous faits sur les mêmes plans, et doivent, entre les formes extrêmes, montrer tous les intermédiaires, tous les passages, toutes les possibilités; ils doivent, dans les variations des formes, présenter une continuité bien propre à être interprétée par une graduelle évolution.

La façon dont on excuse les croyances naïves des Anciens, de Lucrèce, faisant, à la chaleur des premiers printemps, sortir les êtres de la terre en fermentation, est bien de nature à empêcher de se manifester toute autre opinion que l'opinion classique. Cependant, si l'on peut s'affranchir de cette influence, et conquérir l'indépendance et le courage d'exprimer librement sa pensée, la doctrine qui fait tomber des étoiles des germes ultramicroscopiques qui, après leur arrivée sur la terre, se transforment en poissons, en reptiles, en mammifères et en hommes, ne paraît pas moins naïve et bien plus invraisemblable. Elle comprend deux hypothèses, toutes deux en contradiction avec les faits: la chute de germes que l'on n'a jamais vus à travers les espaces interstellaires fatals à toute conservation de la vie, et la transmission de variations acquises par l'hérédité qui toujours montre, qui a toujours montré une opposition absolue à la transmission des variations acquises. L'hérédité, au contraire, maintient inflexiblement le type ancestral.

Dans la doctrine des Anciens, il n'y a qu'une seule hypothèse qui s'impose et à laquelle ne s'oppose aucun fait, c'est à l'aurore de la vie, dans les conditions favorables de chaleur des premiers printemps, la production de simples cellules, des ovules primordiales, dans cette température d'incubation qu'avait alors toute la surface de la terre, dans cette couche couvrant mondiale, ont évolué comme nous voyons aujourd'hui sous nos yeux, les ovules divers, incubés, évoluer, se développer, dans nos couveuses artificielles, aux seins des eaux, ou même, comme autrefois, dans la terre en fermentation, ainsi que le font les ovules végétaux.

En résumé, la solution du problème de la nature et de l'origine de la vie est dans la connaissance des facultés organisatrices des forces physiques, dans des conditions qui nous sont révélées et précisées, par la biophysique, la physiologie, la paléontologie, la géologie et la cosmogonie.

PHYSICISME ET PSYCHOLOGIE

Les facultés supérieures sont des fonctions des centres nerveux, leur étude appartient à la physiologie, elle doit se faire suivant les principes du physicisme qui ne saurait pas plus admettre la métaphysique que le mysticisme. Il n'y a pas de métaphysique, il n'y a qu'une physique.

Toutes les facultés supérieures, la sensibilité, la raison, la conscience, les sentiments, sont des fonctions cérébrales; elles naissent, se développent, déclinent et disparaissent avec le cerveau. Elles sont si étroitement subordonnées à son organisation que, de leurs altérations, on peut conclure le plus souvent à l'altération cérébrale, à son étendue, à sa nature.

Toutes les facultés naissent et se développent à mesure que les centres nerveux recueillent pour les conserver les impressions venues de l'extérieur. Les sensations, transmises au cerveau par les nerfs, y déterminent des impressions qui s'y conservent et sont revivifiées par de très légères influences. Notre moi psychique et sentimental, est formé par l'ensemble de ces impressions. On n'a jamais observé d'idées ou de sentiments nécessairement innés, jamais un nouveau-né n'a exprimé ses opinions ou ses sentiments. Les idées, prétendues innées, ne sont affirmées et défendues que par des hommes ayant recueilli de l'extérieur un nombre infini d'impressions. Toutes nos idées, toutes nos pensées nous viennent de nos sensations et de nos perceptions, c'est-à-dire, des modifications produites et laissées sur nous par les impressions extérieures.

Tous les êtres, ayant été formés par les forces de la nature, suivant les mêmes lois, sont construits sur des plans analogues. Les animaux possèdent, comme les hommes, un cerveau, ayant une forme, une composition, une structure et des fonctions très semblables; aussi retrouve-t-on, chez les animaux, les plus belles facultés humaines. Chez tous les êtres, l'amour maternel, les sentiments conjugaux, plus fermes, plus touchants, plus élevés que la colombe que chez bien des humains; l'amitié, la fidélité, le dévouement, qualités par lesquelles des chiens s'élevaient au-dessus de certains hommes; la prévoyance remarquable chez les abeilles, les fourmis, les oiseaux migrateurs qui, à l'approche de l'hiver, s'en vont vers des contrées plus chaudes, après avoir donné aux petits nouveau-nés l'instruction nécessaire au voyage; la vigilance, si remarquable chez les oies; on sait que ces animaux se sont illustrés en sauvant le Capitole et les destinées de Rome, on sait moins que les oies se gardent mieux que n'ont su le faire bien des généraux: lorsque les oies s'endorment au soleil, au milieu de la troupe, une sentinelle vigilante veille, debout sur une seule patte, observant incessamment toutes les directions, prête à pousser un appel d'alarme à l'approche du danger; après son temps de veille, une autre vient prendre sa place, et elle va dormir à son tour. En ce qui concerne l'intelligence, il y a lieu de remarquer que les animaux, le chien, le cheval, le bœuf, comprennent l'homme beaucoup mieux que celui-ci ne peut les comprendre. La bonté est la qualité suprême; or, l'homme semble le seul être de la création qui tue sans nécessité, sans avoir à se défendre, sans avoir faim, seulement pour se distraire. Les progrès de l'intelligence, l'utilisation des forces naturelles dont s'enorgueillit l'humanité ne sont l'œuvre que de quelques pionniers dont la plupart ont été persécutés, martyrisés, massacrés: Socrate, condamné à boire la ciguë; Archimède, abattu d'un coup de matraque; Christophe Colomb, emprisonné et enchaîné; Giordano Bruno, Michel Servet, brûlés; Galilée, emprisonné, jugé et condamné; Galvani, banni; Lavoisier, guillotiné; Lamarck, méconnu, humilié et persécuté. Ce que les humains appellent honorer les grands hommes, c'est attribuer à leurs persécuteurs ou à leurs successeurs, avantages et honneurs, en raison du mérite de ceux qui ont été sacrifiés. La faculté la plus évidente par laquelle l'homme se distingue de tous les êtres, c'est l'orgueil.

Les facultés cérébrales se simplifient avec l'organisation du cerveau et deviennent de plus en plus élémentaires à mesure qu'on les considère dans des êtres plus simples, chez les êtres monocellulaires, toutes les facultés semblent réduites à la nutrition et aux trépismes.

Toutes les actions mécaniques, chimiques et physiques, qui agissent sur le cerveau, agissent sur les facultés et les modifient. L'ablation de tous les centres nerveux entraîne la mort, la disparition de l'être; l'ablation des hémisphères cérébraux seulement, supprime les facultés supérieures et laisse subsister la vie végétative. Des actions mécaniques, un corps pénétrant, un coup sur la tête, suppriment toutes les facultés ou les altèrent, dans la proportion dans laquelle elles altèrent le cerveau.

Les facultés les plus hautes sont influencées d'une façon plus complexe encore par l'action sur le cerveau des agents chimiques, de l'opium, du chloroforme, de la belladone, les effets varient avec les doses, et s'exercent sur les différentes facultés; l'opium, le chloroforme obscurcissent, puis suppriment la raison; la belladone exalte l'imagination jusqu'à l'illusion et l'hallucination; l'alcool excite d'abord les facultés, puis les suspend; les boissons à essence, telles que l'absinthe, agissent sur la conscience et les sentiments, elles rendent ombrageux, impulsif et violent. La plupart des troubles mentaux sont dus à des intoxications, soit d'origine externe, soit d'origine interne, ces dernières pouvant être autogènes, comme dans l'urémie, ou infectieuses, c'est-à-dire d'origine microbienne.

Les agents physiques, en agissant sur les centres nerveux, modifient aussi toutes les facultés. Le moyen le plus rapide et de faire passer dans les centres nerveux, des reins au front, un faible courant électrique de forme concave blessure, est de faire passer dans les centres nerveux, des reins au front, un faible courant électrique de forme concave blessure, le courant le plus favorable est un courant intermittent, interrompu, cent fois par seconde; pendant neuf millièmes de seconde, passant, par conséquent, chaque fois, pendant un millième de seconde. J'ai tué instantanément des taureaux, des bœufs, des chevaux; les animaux les plus vigoureux et les plus méchants tombent sans un cri, sans un signe de protestation ou de douleur, à l'instant où du bout de l'index, on ferme le circuit, sur 110 ou 220 volts. Les courants intenses ne conviennent pas pour donner la mort; en raison de la chaleur qu'ils développent, ils cuisent et enflamment rapidement le sujet, on est obligé de les interrompre, et le sujet revient à la vie; car, si toutes les facultés sont instantanément supprimées, tant que persiste l'excitabilité du système nerveux, c'est-à-dire pendant une minute ou deux, le sujet peut revenir à la vie si le courant est interrompu. Il faut maintenir le passage du courant jusqu'à la mort définitive, jusqu'à l'extinction de l'excitabilité électrique des centres nerveux, annoncée par la cessation de la contracture et par l'établissement de la résolution musculaire. L'intensité des courants avec lesquels j'ai tué de très gros animaux, des bœufs de 800 kilogrammes, n'a jamais dépassé 100 milliampères; leur efficacité vient de leur forme et de leur concentration dans l'axe cérébro-spinal.



Fig. 110 - Narcose électrique.

Le même courant intermittent, graduellement établi des lombes au front, suspend toutes les facultés, y compris la motilité, c'est la narcose électrique, que l'on peut maintenir pendant des heures consécutives et pendant laquelle on peut, sans une réaction, sans un signe de douleur, accomplir toutes sortes d'opérations sur l'animal qui y est soumis (fig. 110).

Avec la même position des électrodes; des reins au front, le courant établi brusquement comme pour donner la mort, mais maintenu pendant cinq secondes seulement, provoque un accès typique d'épilepsie.

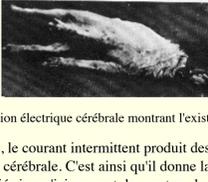


Fig. 111 - Effets de l'excitation électrique cérébrale montrant l'existence de centres de synergie.

Suivant le mode d'application au cerveau, le courant intermittent produit des effets différents et permet d'entreprendre et de poursuivre l'étude de la physiologie cérébrale. C'est ainsi qu'il donne la démonstration de l'existence de centres fonctionnels bien différents de ceux étudiés jusqu'ici, ce sont des centres de synergie et de coordination qui président à l'excitation simultanée et coordonnée de muscles concourant à une fonction déterminée. C'est ainsi que la photographie figure 111 nous montre, produites par l'excitation cérébrale à l'aide du courant intermittent: 1° la contraction simultanée de tous les muscles fléchisseurs du corps; 2° la contraction simultanée fléchisseurs des pattes postérieures et des extenseurs des pattes antérieures; 3° la contraction de tous les extenseurs. On conçoit l'importance, dans la physiologie cérébrale, de ces synergies, de ces coordinations, de ces associations fonctionnelles des différentes régions, réalisées par les innombrables fibres d'association, fibres en anses, allant d'une région à l'autre, d'une circonvolution à l'autre, d'un hémisphère à l'autre à travers le corps calleux.

Lorsque je commençai mes études d'électrophysiologie cérébrale, l'enseignement sur ce sujet était bien curieux. On affirmait, d'une part, que l'application des courants électriques à la tête était très dangereuse à cause de la proximité du cerveau; d'autre part, qu'enfermé dans le crâne, le cerveau était inaccessible aux courants électriques sur le vivant. Cet enseignement se répéta pendant près de quarante ans. En essayant, on trouve que, sur le vivant, le cerveau est l'organe le plus accessible aux courants électriques, et qu'il supporte sans danger les courants les plus violents, les plus intenses.

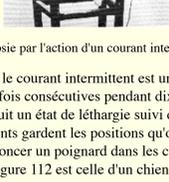


Fig. 112 - Chien mis en catalepsie par l'action d'un courant intermittent sur la moelle cervicale.

Appliqué au cerveau chez des sujets intacts, le courant intermittent est un puissant modificateur du psychisme. En faisant, sous 110 volts, passer deux ou trois fois consécutives pendant dix à vingt secondes le courant intermittent de bas en haut de la colonne cervicale, on produit un état de léthargie suivi d'un état de catalepsie; les animaux sont comme en plomb, les chiens les plus turbulents gardent les positions qu'on leur donne, ils sont indifférents à tout, leur cœur bat, ils respirent, mais on peut leur enfoncer un poignard dans les chairs, ils ne détournent même pas la tête, ce sont des statues vivantes. La photographie figure 112 est celle d'un chien en catalepsie se tenant sur trois pattes sur les trois pieds d'un tabouret renversé. La photographie étant une pause, la patte pendante est rendue floue par les oscillations causées par la respiration.

Le courant intermittent, appliqué au cerveau, modifie le caractère et les facultés, donne à un chien une agitation incessante et incoercible, une invincible attirance vers la lumière, ou, appliqué autrement, le rend triste, déprimé, photophobe. On peut produire de l'extase, de la cécité psychique, de la dromomanie, et nombre de troubles observés dans les maladies mentales.

Tandis que le cerveau supporte sans douleur ou danger les courants les plus intenses pendant plus d'une minute, ces courants, appliqués à la moelle dorsale, provoquent les plus atroces douleurs, et la mort, même après un passage de quelques secondes.

En résumé, les facultés psychiques apparaissent et se développent avec les centres nerveux, s'altèrent ou disparaissent avec eux, elles sont absolument liées à leur organisation; elles sont influencées par tous les agents mécaniques, chimiques et physiques; elles sont, comme tous les autres phénomènes, soumises aux lois de la nature, elles doivent être étudiées suivant les méthodes des sciences physiques, elles sont du domaine du physicisme, elles doivent entrer dans le champ de la biologie synthétique. La mémoire est à la base de toutes les facultés mentales, elle consiste dans la conservation et la reviviscence de toutes les impressions acquies; il faut, pour s'éclairer sur ce mécanisme physique, étudier expérimentalement, dans des conditions aussi analogues que possible, la conservation et la reviviscence des impressions. Dans la nature physique comme dans la nature vivante, les impressions se conservent et peuvent être revivifiées, la plaque photographique nous en donne un exemple. Par son fonctionnement, un tube Röntgen est rendu fluorescent et phosphorescent, des fragments de vieux tubes Röntgen, après des années, lorsqu'on les chauffe, redeviennent phosphorescents.

On peut, d'autre part, entrevoir les bases physiques des facultés supérieures. Considérons le sentiment esthétique; si nous cherchons le degré de perfection auquel l'ont amené des milliers d'années de culture mystique et métaphysique, nous voyons des œuvres d'art, restées longtemps sans attention, devenir tout à coup l'objet d'une grande admiration et d'une haute appréciation, dès qu'on y découvre la signature d'un grand artiste; mais vient-on à établir que cette signature est fautive, toute la valeur esthétique de l'œuvre disparaît. Si l'on recherche l'histoire des œuvres d'art les plus célèbres, on trouve que la plupart d'entre elles ont été complètement méconnues tout d'abord, ce n'est que progressivement, sous l'influence d'une sorte de publicité, qu'elles ont atteint leur renommée et leur valeur.

Nous pouvons, d'un autre côté, même par une analyse sommaire, apercevoir des conditions physiques de l'esthétique. Presque toutes les formes considérées comme belles, dans tous les temps et dans tous les pays, présentent de la symétrie; le corps humain, le corps des animaux, les feuilles des plantes, un certain nombre de fleurs, présentent une symétrie bilatérale, de part et d'autre d'un plan médian. La plupart des fleurs ont, autour d'un axe de rotation, une symétrie par suite de laquelle, elles se superposent un certain nombre de fois à elles-mêmes. Les arts graphiques observent toujours cette condition de symétrie pour atteindre la beauté. On se rendra compte de son importance en imaginant l'effet d'un édifice dont les portes et les fenêtres auraient une moitié en style grec, en triangle, et l'autre moitié gothique, en ogive. En poésie, le rythme et la rime correspondent à des symétries, par lesquelles en musique on réalise la mélodie. La musique, à son tour, nous révèle une autre condition physique de la beauté, l'harmonie s'obtient surtout avec des rapports simples et, retournant aux arts graphiques, on trouve que cette notion leur est applicable. On peut atteindre la beauté avec des rapports compliqués et des éléments asymétriques si les parties nombreuses et irrégulières sont réunies par groupes symétriques en rapports simples. La simplicité des rapports dans l'association et dans les proportions des parties et la symétrie des sensations semblent bien être les lois physiques de l'esthétique. Pour le reconnaître, prenons des formes quelconques, sans signification, réalisons avec elles les deux conditions précédentes, groupons-les symétriquement en rapport simple, 3, 4, 6, et résumons-les; si nous trouvons de la beauté dans le résultat, c'est que les conditions réalisées suffisent à donner la sensation esthétique.

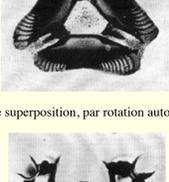


Fig. 113 - Figure à trois symétries de superposition, par rotation autour d'un centre, produite par diffusion.

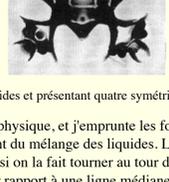


Fig. 114 - Forme produite par diffusion des liquides et présentant quatre symétries de superposition et huit symétries de position.

Pour faire cette expérience, j'ai recouru à la physique, et j'emprunte les formes aux effets morphogéniques, si parfaitement méconnus et inconnus, résultant du mélange des liquides. La figure 113 nous montre une symétrie triple, se superposant trois fois à elle-même si on la fait tourner au tour de son centre; chaque côté du triangle présente en outre une symétrie bilatérale par rapport à une ligne médiane. La figure 114 représente une quadruple symétrie de superposition et deux symétries bilatérales.

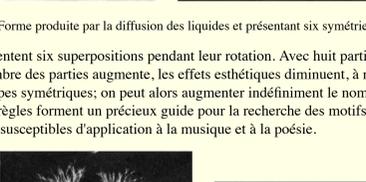


Fig. 115 et 116 - Forme produite par la diffusion des liquides et présentant six symétries de superposition.

Les figures 115 et 116 présentent six superpositions pendant leur rotation. Avec huit parties, on obtient encore de beaux effets, mais si le nombre des parties augmente, les effets esthétiques diminuent, à moins de réunir ces parties en un petit nombre de groupes symétriques; on peut alors augmenter indéfiniment le nombre des parties, augmenter et varier les symétries, ces règles forment un précieux guide pour la recherche des motifs dans les arts décoratifs, et ces notions sont également susceptibles d'application à la musique et à la poésie.

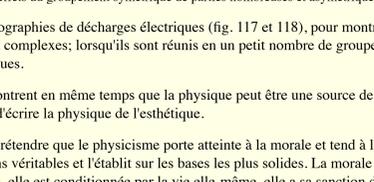


Fig. 117 et 118 - Figure produite par une décharge électrique et présentant huit symétries de superposition. Cette figure montre les effets du groupement des symétries nombreuses et complexes.

Je donne ici quelques photographies de décharges électriques (fig. 117 et 118), pour montrer comment des éléments asymétriques, nombreux et complexes; lorsqu'ils sont réunis en un petit nombre de groupes symétriques, peuvent produire des effets esthétiques.

Les exemples présentés montrent en même temps que la physique peut être une source de motifs nouveaux de décoration. Il serait facile d'écrire la physique de l'esthétique.

Il est absolument faux de prétendre que le physicisme porte atteinte à la morale et tend à l'ébranler; bien au contraire, il éclaire sur ses conditions véritables et l'établit sur les bases les plus solides. La morale est absolument indépendante des doctrines, elle est conditionnée par la vie elle-même, elle a sa sanction dans les conséquences mêmes de nos actes. Tout ce qui favorise et élève l'individu, la collectivité, la race, tout ce qui contribue à sa durée et à son expansion est moral. Tout ce qui abaisse, amoindrit abrège, diminue est immoral. La morale individuelle est simple, elle se résume à se comporter envers les autres comme, dans les mêmes circonstances, on désirerait qu'ils se comportassent envers nous. Ce qui égare, mais ce que le physicisme éclaire, c'est la relativité de la morale, qui fait qu'une même action, suivant les circonstances, est un crime abominable ou un acte méritoire. Assassiner quelqu'un pour le voler est un épouvantable crime, mais, au péril de sa vie, abattre un assassin pour défendre ses victimes est un acte méritoire.

Ce qui porte atteinte à la morale et tend à l'ébranler, c'est de lui donner des sanctions fausses, imaginaires chimériques; lorsque l'esprit commence à douter de la réalité de ces sanctions, la morale est ébranlée d'autant plus profondément que l'on a mieux masqué les sanctions véritables, qui sont dans la sérénité et le degré de bonheur qui ne se peut atteindre que par l'observation de la morale. Le bonheur est surtout dans le contentement intime, la satisfaction de soi-même, qui ne se trouve que dans la mesure dans laquelle on atteint son idéal de perfection. C'est l'idéal de perfection que les hommes ont toujours personnifié en lui donnant le nom de Dieu. La notion du bien et du mal est dans notre appréciation, dans notre prévision des conséquences de nos actes. Il est aussi impossible à un homme d'échapper à la souffrance qui résulte de la conscience de mal faire, de mal penser, de mal agir, que d'échapper de sa mémoire les impressions qu'elle a reçues. La morale peut se définir: la science du bonheur. L'hypocrisie est la spéculation sur la vertu, son succès n'est qu'éphémère; comme toutes les spéculations, elle finit le plus souvent par une catastrophe.

Comme le beau physique, le beau moral, source du bonheur, est dans l'harmonie de l'homme avec son milieu et, suivant les températures, cette harmonie peut se réaliser soit en s'adaptant soi-même au milieu, soit en adaptant le milieu à soi-même.

La science a, dans une large mesure, vaincu la douleur physique; c'est sans aucune souffrance que s'accomplissent aujourd'hui les opérations autrefois si douloureuses; les moyens de soulager la douleur se sont accrues en nombre et en puissance. On diminue de plus en plus le nombre et la gravité des maladies.

Ces résultats sont dus à des recherches poursuivies suivant les méthodes du physicisme. On doit espérer que les mêmes méthodes, en éclairant la conscience sur les conditions à réaliser pour avoir une vie heureuse, diminueront les douleurs morales, et le fin d'un homme arrivé à un âge avancé, après une belle et bonne existence, sera comme le soir d'un beau jour.

A l'opinion que la morale trouve sa sanction dans ses conséquences mêmes, on opposera les exemples de Socrate, d'Archimède, de Christophe Colomb, de Giordano Bruno, de Michel Servet, de Galilée, de Galvani, de Lavoisier, de Lamarck et de bien d'autres bienfaiteurs de l'humanité, persécutés, massacrés par elle. Pour fortifier l'objection, on ajoutera l'ironie des honneurs posthumes. Tous ces exemples, bien loin d'ébranler les bases physiques de la morale, les justifient, les fortifient. Ces faits, contre lesquels proteste la conscience, sont des actes d'intolérance inspirés par la croyance à l'absolu par les morales au nom desquelles on combat la morale physique, morales qui masquent la relativité de tout et répandent le fanatisme et l'intolérance parmi les hommes. Invoquer ces faits contre la morale physique, c'est lui imputer les fautes et les crimes des morales concurrentes.

Dans l'appréciation du sort de ces hommes, il faut aussi savoir tenir compte du sentiment intime. La prévision, la conscience du bien qui résulte de nos actions, donnent des satisfactions qui dépassent beaucoup des peines que cause la méconnaissance.

Je considère comme des meilleurs jours de ma vie ceux pendant lesquels, en 1898, il me fut donné de protéger, contre une foule proférant des menaces de mort, l'inventeur Edouard Grimaux, membre de l'Académie des Sciences de Paris.

Ceux dont l'ambition est dirigée vers la conquête des profits et des bonheurs ne sauraient comprendre ceux dont le but est la poursuite désintéressée de la vérité. Les motifs sont trop différents, les idéaux trop opposés. La mentalité du champion désintéressé du progrès est intelligible pour l'ambitieux de profits et des honneurs. Le but de l'actif, la dignité, l'attitude, le caractère sont absolument opposés: sur les deux voies, il faut faire des sacrifices à son ambition et à son but. Mais sur l'une il faut savoir sacrifier son indépendance, sa personnalité, sa sincérité, il faut savoir manier l'éloge et répandre l'encens; pour être admis à ce que l'on appelle les honneurs, il faut subir de nombreuses épreuves consistant à laisser piétiner sa dignité. L'autre voie exige la conservation de tout ce que l'on abandonne sur la première, le renoncement à tout ce que l'on y trouve. Ce n'est qu'en conservant intacte sa personnalité, en toute liberté, en toute indépendance, que l'on peut avancer vers des horizons nouveaux. L'explorateur de l'inconnu doit savoir qu'en abandonnant les routes fréquentées sur lesquelles se trouvent les riches cités et les séjours confortables, pour s'engager, dans des voies non tracées, il trouvera la majorité. S'il y rencontre quelques esprits, ce ne peut être qu'une élite, qui cessera d'être une élite en devenant une majorité. Il existe pour les pionniers des satisfactions inconnues des autres hommes: la conscience de l'œuvre accomplie, la volupté de l'action qui crée ce qui n'a jamais existé, de l'esprit qui contemple ce qui n'a jamais été vu, de l'intelligence qui comprend ce qui n'a jamais été compris.

Ces sont la morale et les chaînes infligés à Christophe Colomb par ses concitoyens, qui le sait, lui, ce qui n'a jamais été compris, quand il sait qu'un monde, il donne un monde? Que peut être à Képler la méconnaissance du petit nombre de ses contemporains, alors qu'il sait qu'à toutes les générations à venir, il révèle les mystères de la mécanique céleste ?

Après les souffrances, après la lutte, après l'effort, triomphe de l'explorateur dans la contemplation des continents nouveaux est amplifié par sa solitude.

L'action qui donne à la pensée la compréhension de l'inconnu est la plus haute manifestation de la vie, le plus beau phénomène de la nature.

"Non, ton éternité d'inconscience obscure,
D'aveugle impulsion, de mouvement forcé,
Tout l'infini du temps ne vaut pas, ô Nature,
La minute où j'aurai pensé."

Mme Ackermann.

Les grands méconnus ont, dans la conscience de comprendre ce qui est universellement incompris, un motif de fierté suprême.

"J'écris mon livre, dit Képler, qu'il soit lu par mes contemporains ou par la postérité, qu'importe ! Il peut attendre des siècles son lecteur, Dieu a bien attendu pendant des milliers d'années un contemplateur tel que moi."

L'idéal vers lequel le physicisme dirige l'humanité est la domination, la direction des forces naturelles par la volonté, au moyen de la compréhension des choses. C'est, sur la matière et les forces de la nature, le triomphe de l'Esprit.

"Dans son élan superbe il l'échappe, ô Matière!
Fatalité, sa main rompt tes anneaux d'airain !
Et nous verrons planer dans sa propre lumière
Un être libre et souverain.

"Surprise dans ses jeux, la force est asservie.
Il met les lois au joug. A sa voix, à son gré,
Découvertes enfin, les sources de la Vie
Vont épancher leur flot sacré."

Mme ACKERMANN.