UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 00838028 9

ÉORIE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA VIE

ET

GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

PAR

STÉPHANE LEDUC

PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

« La nature a formé, et forme tous les jours les êtres les plus simples par génération spontanée. LAMARCK ».

PARIS

A. POINAT, ÉDITEUR

PUBLICATIONS MÉDICALES ET SCIENTIFIQUES

11, RUE DUPUYTREN, 11

1910

QH
345
L4

The University of Toronto
Chemical Library

Presented
to
The University of Toronto Library
by
William Lash Miller, B.A., Ph.D., C.B.E.
Professor Emeritus of Physical Chemistry
for
A Departmental Library to be under
the control of the Professor of
Chemistry according to the conditions
set out in a letter from the Librarian
of the University dated March 21st.
1938.

THÉORIE PHYSICO-CHIMIQUE

DE LA VIE

ET

GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

THÉORIE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA VIE

ET

GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

PAR

STÉPHANE LEDUC

PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

« La nature a formé, et forme tous les jours le êtres les plus simples par génération spontanée. LAMARCK ».

PARIS

A. POINAT, ÉDITEUR

PUBLICATIONS MÉDICALES ET SCIENTIFIQUES

11, RUE DUPUYTREN, 11

1910

INTRODUCTION

La science présente la vie comme un phénomène bien séparé des autres phénomènes de la nature et, jusqu'ici, elle se montre impuissante à en donner une définition. C'est en vain que l'on a cherché un phénomène caractéristique de la vie : ni l'évolution, ni la nutrition, ni la sensibilité, ni la croissance et l'organisation, ni même la reproduction n'appartiennent exclusivement à la vie de façon à pouvoir la caractériser.

Les êtres vivants sont faits des mêmes éléments chimiques que le monde minéral ; on ne découvre chez eux que les mêmes forces physiques en jeu dans le monde non vivant.

La vie est difficile à définir parce qu'elle diffère d'un être à l'autre ; la vie d'un homme n'est pas celle d'un polype ou d'une plante. Si l'on ne peut séparer la vie des autres phénomènes de la nature c'est qu'elle ne s'en sépare pas, le passage est graduel et insensible. La différence est bien plus grande entre un homme et un polype calcaire, qu'entre celui-ci et un groupe de stalagmites, et des savants instruits des choses de la biologie discutent pour savoir si des productions situées à la limite des règnes ont ou n'ont pas la vie.

Les êtres vivants sont des transformateurs chimiques de la matière et des transformateurs d'énergie. La matière et l'énergie sont invariables en quantité, indestructibles, incréables. La matière et l'énergie ne font que passer

dans l'être vivant, chaque être vivant est un courant de matière et d'énergie, sa substance et son énergie changent en lui d'un instant à l'autre.

Ce qui constitue l'être, c'est sa forme et sa structure. L'être vivant naît, se développe, et disparaît avec sa forme. En contraste avec la pérennité de la matière et de l'énergie qui circulent en lui, l'être vivant est éphémère comme sa forme.

Le phénomène essentiel à la vie c'est la nutrition. Tous les aliments, pour être assimilés, doivent être amenés à l'état liquide ; le phénomène élémentaire de la vie, point de départ de tous les autres, est donc le contact entre les liquides alimentaires et ceux de l'être vivant, et la connaissance de la vie est subordonnée à la connaissance des phénomènes physico-chimiques qui résultent du contact de liquides différents : la biologie est une partie de la physico-chimie des liquides. La physico-chimie de la vie comprend donc l'étude des solutions non électrolytiques et électrolytiques, des solutions colloïdales, des forces moléculaires en jeu dans ces solutions : pression osmotique, cohésion, cristallisation, et des phénomènes produits par ces forces : diffusion et osmose.

On trouvera dans ce volume l'énergétique nécessaire à la biologie exposée sans mathématique. Le deuxième principe de la thermodynamique ou principe de Carnot, la notion d'entropie, sont développés en langage ordinaire. La généralisation comme condition de transformation de toute énergie potentielle, de l'intervention d'une énergie étrangère excitatrice, sans rapport de grandeur avec l'énergie à transformer, permet de faire rentrer les phénomènes catalytiques et les fermentations diastasiques dans les lois générales de l'énergétique, et montre les êtres vivants comme le siège d'énergies potentielles, mises en jeu par l'intervention d'énergies étrangères excitatrices des sensations.

L'état actuel des sciences biologiques et physico-chimiques permet d'entrer dans la voie des synthèses biologiques, de fonder la biologie synthétique, dont la signification, l'histoire et les méthodes sont exposées dans un chapitre spécial.

On trouvera dans tout le cours de l'ouvrage les premiers résultats de la biologie synthétique : on y verra comment on peut, par diffusion des liquides, obtenir des formes de tissus cellulaires, des structures en réseaux comme celles des muscles, de la nacre, et de beaucoup d'autres tissus vivants. On verra comment on peut, par diffusion des liquides, reproduire dans leur ordre successif et régulier, des formes et des mouvements compliqués, semblables à ceux que l'on observe dans les cellules vivantes en voie de division caryocinétique.

Enfin le caractère essentiel de l'être vivant, le seul qui se conserve pendant toute son existence ; celui avec lequel il naît, avec lequel il évolue, et qui disparaît avec lui, c'est la forme et la structure. Le principal problème de la biologie synthétique est donc de connaître les forces et les conditions physico-chimiques susceptibles de produire et de développer des formes et des structures analogues à celles des êtres vivants. C'est l'objet du chapitre sur la morphogenèse.

Les productions osmotiques qui présentent des formes et des structures semblables à celles des êtres vivants offrent également avec ceux-ci de grandes analogies de fonctions à l'étude desquelles est consacré le chapitre sur la physiogenèse.

Le dernier chapitre est consacré à la doctrine de l'évolution. La chaîne des êtres ne saurait être brisée nulle part, c'est nécessairement une chaîne continue, depuis le minéral jusqu'à l'être le plus perfectionné. Pour être rationnelle et féconde, pour remplir son rôle de théorie scientifique, inspirer et diriger la recherche, la théorie

de l'évolution doit admettre la nature physico-chimique de la vie et les générations spontanées. On cherche alors les forces physico-chimiques susceptibles de produire des formes et des structures analogues à celles des êtres vivants, des phénomènes analogues à ceux de la vie ; on étudie les circonstances qui modifient les productions de ces forces de façon à les faire évoluer, et, dans le passé de la terre, on recherche les phénomènes naturels par lesquels ces forces physico-chimiques ont été mises en jeu. On entrevoit ainsi au moins la voie par laquelle l'homme pourrait parvenir à contempler l'origine et l'évolution de la vie sur la terre.

TABLE

	Pages
La vie et les êtres vivants	11
Les solutions	25
Les solutions électrolytiques	37
Les colloïdes	50
La diffusion et l'osmose	59
La périodicité	84
Cohésion et cristallisation	96
La karyocinèse	108
Energétique	117
La biologie synthétique	134
La croissance osmotique : étude de morphogenèse	145
Les phénomènes de la vie et les productions osmotiques : étude de physiogenèse	168
L'évolution et les générations spontanées	186

CHAPITRE PREMIER

La vie et les êtres vivants

Les premiers hommes remarquèrent dans la nature des corps immobiles et des corps animés ; le mouvement fut pour eux l'expression de la vie ; l'eau courante, les vagues, le vent étaient vivants et dotés des attributs de la vie : volonté, sentiments et passions. La mythologie grecque est le poétique résumé de ces conceptions primitives. Au moral comme au physique, l'ontogénie ou développement de l'être est la répétition de la philogénie ou développement de la race, les enfants attribuent la vie à tout ce qui est animé ; c'est pour eux une petite bête qui produit le mouvement et le tic-tac d'une montre.

Une observation attentive montre que tout est animé dans la nature, et le mouvement ne saurait être considéré comme la caractéristique de la vie.

Héraclite compare très heureusement la vie à une flamme. Aristote dit : « La vie est la nutrition, la croissance et le dépérissement, ayant pour cause un principe qui a sa fin en soi, l'entéléchie. » Le principe reste à définir, et la définition d'Aristote se borne à substituer un mot à un autre.

Bichat définissait la vie l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort. C'est subordonner la définition de la vie à celle de la mort, qui ne peut se définir sans la vie.

Claude Bernard rejette toute définition de la vie comme insuffisante et étrangère à la science expérimentale.

Beaucoup de physiologistes modernes donnent comme

caractéristique de la vie la sensibilité ou irritabilité, définie comme faculté de répondre par un changement quelconque à toute action extérieure. Cependant, comme pour le mouvement, une observation attentive révèle que cette faculté est générale dans la nature, la physique moderne nous montre qu'il n'est pas une seule action sans réaction ; un corps élastique repousse un corps qui le heurte, à un contact plus chaud tous les corps de la nature se dilatent, ils se contractent par le froid, se modifient par la lumière qu'ils absorbent ; en résumé, tous les corps répondent par un changement à toute action extérieure et cette faculté ne saurait caractériser la vie.

J'ai entendu un professeur de physiologie célèbre enseigner à ses élèves que la caractéristique de la vie était la disproportion entre l'action et la réaction : « Faites tomber, leur disait-il, un poids d'un gramme sur un nerf et le muscle contracté par cette excitation soulèvera un poids de dix grammes ; cette disproportion caractérise la vie. » La disproportion entre l'action et la réaction est bien plus grande lorsque le mécanicien entraîne un train en tournant le robinet d'admission de vapeur, lorsque l'établissement d'un contact répand l'électricité dans une ville, allume les lampes, anime les moteurs et les tramways, lorsque la friction d'une allumette fait sauter une poudrière : la disproportion entre l'action et la réaction n'est nullement caractéristique de la vie.

La plupart des physiologistes contemporains considèrent comme caractéristique de la vie le phénomène de la nutrition par lequel l'être vivant absorbe de la substance du milieu extérieur, lui fait subir une métamorphose chimique avant de se l'assimiler et rejette certains produits dans le milieu extérieur : ces caractères appartiennent à un très grand nombre de réactions chimiques auquel on ne peut attribuer la vie. Considérons un fragment de chlorure de calcium, dans une solution de carbonate de sodium : il

absorbe l'ion carbonique, l'incorpore dans une molécule nouvelle de carbonate de calcium et rejette du chlore dans son milieu. On peut objecter qu'à mesure que la réaction se poursuit la substance qui la détermine se modifie, le chlorure se change en carbonate de calcium ; mais la composition chimique de l'être vivant change également à chaque instant de son existence, c'est ce qui constitue l'involution sénile ; la substance d'enfant n'est pas celle de vieillard : les réactions chimiques constituant la nutrition n'ont rien de spécial pouvant caractériser la vie.

On a considéré la croissance et l'organisation comme des attributs caractéristiques de la vie. On différenciait la croissance des cristaux de celle des êtres vivants par le fait que la croissance des cristaux se fait par juxtaposition des matériaux, comme celle d'un mur par la superposition des moellons, tandis que la croissance des êtres vivants se fait par intususception, s'effectuant en même temps dans toute la masse. Les cristaux, d'ailleurs, ont une constitution homogène ; les êtres vivants ont une constitution très différenciée ; cette différenciation constitue l'organisasion. Nous apprendrons à connaître des productions physiques, les croissances osmotiques, qui croissent par intussusception et développent une grande complexité de forme et d'organisation : la croissance et l'organisation ne sont donc pas des attributs caractéristiques de la vie.

Puisqu'on ne peut marquer la séparation entre la vie et les autres phénomènes de la nature, on devrait conclure que cette séparation n'existe pas, ce qui est conforme à la loi de continuité entre tous les phénomènes. Les divisions, les séparations sont faites par l'homme pour se faciliter l'étude de la nature, elles ont à cet égard une grande utilité ; mais, étant donné les transitions graduelles qui unissent tous les êtres et les phénomènes, il est impossible de les séparer nettement, et nous devons nous contenter de définitions relatives aussi précises que possible.

La vie est l'ensemble des phénomènes manifestés par les êtres vivants ; la définition de la vie se trouve ainsi subordonnée à celle de l'être vivant. Les êtres vivants reçoivent de l'extérieur de l'énergie qu'ils rendent au milieu sous une autre forme, après l'avoir transformée : ce sont donc des transformateurs d'énergie.

Les êtres vivants absorbent, dans un certain état chimique, de la matière qu'ils rendent au milieu dans un autre état chimique : ce sont donc des transformateurs chimiques de la matière.

Les êtres vivants débutent par une forme très simple qui évolue en formes plus ou moins compliquées : ce sont donc des transformateurs de forme.

Les êtres vivants sont constitués essentiellement par des substances cristallisables, des cristalloïdes, et des subtances non cristallisables, analogues à la colle, ou colloïdes. A la constitution de la plupart des êtres vivants s'ajoutent des membranes osmotiques et des parties solides servant de support aux liquides essentiels et constituant le squelette. Tous les êtres vivants semblent contenir en quantité plus ou moins grande de la substance colloïdale appartenant au groupe que les chimistes désignent sous le nom de substances albuminoïdes.

En résumé, les êtres vivants sont des transformateurs d'énergie et de matière, à formes évolutives, dont la constitution essentielle est l'état liquide, et contenant des substances albuminoïdes.

Les êtres vivants ont une durée limitée, ils naissent, se développent, s'organisent, déclinent et meurent. Pendant toute la période de la vie il existe, dans toutes les métamorphoses de forme, de substance, d'énergie, une coordination, une harmonie qui concourt à la conservation de l'individu. La désharmonie de cet ensemble, c'est la maladie : lorsque la forme est profondément altérée, la substance changée, lorsque les transformations de l'énergie ne

peuvent plus suivre leur ordre régulier, c'est la mort.

Après la mort, les colloïdes qui constituent l'être vivant passent de l'état liquide ou sole à l'état coagulé ou de gel.

Les métamorphoses de forme, de substance, d'énergie continuent, mais au lieu de concourir à la conservation de l'individu, elles concourent au contraire à sa dissolution, la forme de l'individu disparaît, sa substance et son énergie se dispersent dans d'autres corps et dans d'autres phénomènes.

Les résultats obtenus dans l'étude de la vie semblent à beaucoup d'hommes éclairés minimes en proportion du travail et des efforts consacrés à cette question. M. Max Verworn s'écrie : « Sommes-nous donc dans une fausse voie ? Posons-nous mal nos questions à la nature ? Ne comprenons-nous pas ses réponses ? »

Toute science, à ses débuts, n'emploie que la simple observation, elle est purement descriptive ; puis on sépare les différentes parties étudiées, on dissèque, on analyse : la science est devenue analytique. Lorsqu'on cherche à reproduire les substances ou les phénomènes que l'on étudie, la science est devenue synthétique.

La biologie n'a guère utilisé jusqu'à présent que les méthodes descriptive et analytique. La méthode analytique, en biologie, est bornée par l'impossibilité de séparer les phénomènes élémentaires : la fonction d'un organe cesse dès qu'il est séparé des autres. Cette particularité est certainement une des causes de la disproportion entre l'effort et les résultats. Nos ressources permettent actuellement d'appliquer la méthode synthétique à l'étude des phénomènes de la vie. Après avoir observé les énergies en action chez les être vivants, on peut s'appliquer à reproduire les phénomènes élémentaires de la vie par la mise en jeu des mêmes énergies en dehors de l'organisme. Cette méthode nouvelle doit nous éclairer sur les phénomènes de la vie et accélérer les progrès de la biologie. La chimie,

d'ailleurs, a déjà trouvé des succès dans cette voie, les nombreuses synthèses organiques peuvent être considérées comme des travaux de biologie synthétique.

Chaque phénomène est déterminé par un ensemble de circonstances que l'on appelle ses causes et dont il est la résultante ; il contribue lui-même à déterminer d'autres phénomènes qui sont ses conséquences. Connaître un phénomène, c'est déterminer toutes ses causes en qualités et en grandeurs.

Les phénomènes se succèdent dans le temps comme des conséquences les uns des autres, formant une chaîne ininterrompue qui s'étend de l'infini du passé pour se continuer vers l'avenir infini. Cette notion de la continuité est très curieusement développée dans le livre de M. Léon Max : *La Physique de l'infini*, Jules Rousset, 1907.

L'être vivant puise dans le milieu qui l'entoure l'énergie et la matière et les lui rend transformées ; il ne peut être séparé du milieu qui agit sur lui et sur lequel il agit ; l'être vivant et le milieu sont solidaires. Le milieu dans lequel est l'être vivant dépend lui-même du milieu qui l'entoure ; et ces relations s'étendent sans limite dans l'espace infini.

La loi de la continuité dans le temps et dans l'espace ne doit jamais être perdue de vue, elle doit guider pour suivre sans interruption les métamorphoses de la substance, de l'énergie, et de la forme chez les êtres vivants.

L'évolution n'est que l'expression de la loi de continuité, elle est la succession des phénomènes et des faits qui, sans discontinuité, se suivent, se déterminent et s'enchaînent dans l'espace aussi bien que dans le temps.

L'énergie et la substance obéissent l'une et l'autre à une loi très générale qui s'applique aux êtres vivants aussi bien qu'à la substance et aux phénomènes de la nature non vivante ; c'est la loi de la conservation, de l'indestructibilité, de l'incréabilité de la matière (Lavoisier,) de

l'énergie (J.-R. Mayer). Une quantité donnée de l'une ou de l'autre reste absolument et complètement invariable à travers toutes les transformations dont elle est susceptible.

Les transformations de la matière en éther et de l'éther en matière pondérable que font supposer ou entrevoir certains phénomènes ne rentrent pas dans l'étude de la vie et, si ces transformations existent, la probabilité est qu'elles se font conformément à la loi de la conservation, suivant une équivalence qui ne nous est pas encore connue.

Contrairement à la substance et à l'énergie, les formes des êtres vivants sont éphémères, et, comme les fonctions sont des résultantes des formes, elles s'éteignent avec elles : toutes les facultés de la vie naissent et disparaissent avec les formes.

Les phénomènes de la vie peuvent se dérouler avec leur vitesse ou intensité normale, être ralentis, comme cela a lieu chez les animaux hibernants ou chez les animaux à température variable lorsqu'ils se refroidissent, ou enfin suspendus, comme dans les graines qui se conservent très longtemps et dans les animaux que l'on peut dessécher ou congeler. Cet état de suspension de la vie, de vie latente, se conçoit comme celui d'une machine arrêtée, dont rien dans la forme et dans la substance n'est altéré au point d'empêcher la remise en marche lorsqu'on a supprimé l'obstacle, c'est-à-dire reconstitué le milieu dans lequel le fonctionnement est possible.

L'être vivant est, pendant toute sa vie, dans la dépendance du milieu. La vie est surtout circonscrite dans des limites étroites de température. Les êtres vivants étant essentiellement constitués par des solutions aqueuses, la vie est nécessairement restreinte aux températures auxquelles ces solutions sont liquides, c'est-à-dire à peu près entre zéro et cent degrés. Si l'on peut congeler certains êtres vivants et abaisser leur température bien au-dessous

de zéro, la vie cependant est suspendue dès que leur substance prend l'état solide. Tous les êtres vivants contenant des substances albuminoïdes, et ces substances étant presque toutes coagulables ou altérables au-dessus de 44°, les manifestations de la vie commencent à diminuer rapidement à partir de cette température. En résumé, l'intensité de la vie augmente lentement de 0° jusque vers 38° à 40° et diminue rapidement ensuite pour devenir à peu près nulle vers 60°.

Une autre condition indispensable à la vie est la présence de l'oxygène. La vie, comparée par Héraclite à une flamme, est une combustion, une oxydation, et l'oxygène, dans certaine condition de pression, lui est indispensable. S'il est des êtres exceptionnels, dits anaérobies, qui semblent pouvoir s'en passer, c'est qu'ils retirent de certaines combinaisons chimiques de leur milieu, l'oxygène dont ils ont besoin.

La lumière, la pression mécanique, la composition chimique du milieu et bien d'autres conditions qui ne nous sont pas toutes connues influencent la vie. Les conditions favorables ou nuisibles dépendent d'ailleurs des êtres eux-mêmes, puisque les uns vivent dans l'air, les autres dans le sol, les autres dans l'eau douce, les autres dans la mer.

On croyait autrefois que la substance des êtres vivants était essentiellement différente de la substance minérale si bien que l'on avait fait deux chimies, la chimie minérale, qui étudiait les métalloïdes et les métaux et la chimie organique, qui s'occupait des substances provenant des êtres vivants. L'analyse a révélé que les êtres vivants sont composés des mêmes éléments que le monde minéral, les principaux sont : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le calcium, le fer, le soufre, le chlore, le sodium, le potassium, et beaucoup d'autres éléments du règne minéral que l'on trouve en moindre quantité. On prétendit alors que les combinaisons qui réunissent ces éléments sont spéciales aux êtres vivants et ne peuvent

être que le résultat de la vie. Ces combinaisons se divisent en quatre groupes principaux : 1° les hydrates de carbone comprenant les sucres, l'amidon, les fécules. Ces combinaisons peuvent être considérées comme formées de carbone et d'eau. 2° 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 les trois éléments carbone, oxygène, hydrogène ; 3° les albuminoïdes, substances à très grosses molécules contenant en plus du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote et du soufre, du phosphore dans les nucléïnes, du fer dans l'hémoglobine. Le 4e groupe des substances dont sont formés les êtres vivants sont les éléments dits minéraux, tels que le chlorure de sodium, le phosphate de calcium, l'acide carbonique, mais la substance principale, celle qui représente à elle seule plus de la moitié de la substance vivante, c'est l'eau.

En 1828, le chimiste Wöhler fit, en partant d'éléments minéraux, la synthèse de l'urée qui est un des produits de décomposition des matières albuminoïdes : depuis, on a fait un grand nombre de synthèses de substances organiques avec des éléments minéraux ; récemment, M. Emile Fischer a produit des polypeptides présentant les réactions des peptones en combinant entre elles des molécules d'acide amidés, acides gras dans lesquels un atome d'hydrogène est remplacé par le groupe $Az\,H^2$.

Il est évident que les problèmes chimiques à résoudre sont du même ordre que les nombreux problèmes déjà résolus. Il n'existe pas de différence essentielle entre la chimie organique et la chimie minérale, il n'y a qu'une chimie. Les êtres vivants sont formés des mêmes éléments que le monde minéral, et les combinaisons organiques de ces éléments peuvent se réaliser dans les laboratoires en dehors des êtres vivants.

Non seulement les êtres vivants sont formés des mêmes éléments chimiques que le règne minéral, mais ils empruntent à ce dernier ces éléments qui, après avoir été de la substance vivante, retournent au règne minéral. On peut dire que toute matière, susceptible d'être incorporée aux êtres vivants, a la vie en soi ; à l'état actuel, lorsqu'elle fait partie des êtres vivants, à l'état potentiel, lorsqu'elle fait partie du règne minéral.

Ce sont les végétaux, les plantes à chlorophylle, qui changent la matière minérale en matière organique Sous l'influence de la lumière, la substance verte des feuilles, la chlorophylle, absorbe dans l'atmosphère l'acide carbonique qu'y déversent incessamment la respiration des animaux et les combustions de toutes sortes, et dont l'accumulation rendrait l'air impropre à l'entretien de la vie ; l'oxygène de l'acide carbonique est rendu à l'air, le carbone est utilisé par la plante pour faire les sucres, l'amidon et la cellulose qui sont des polysaccharides, les substances grasses et toutes les substances végétales contenant du carbone. Les plantes se nourrissent donc par les feuilles et prennent dans l'air une part importante de leur nourriture ; par leurs racines, elles puisent dans le sol l'eau, les phosphates, les sels minéraux, les nitrates avec lesquelles elles font les albuminoïdes. Les végétaux sont les principaux laboratoires de synthèse dans lesquels la matière minérale se change en matière organique. On admet aujourd'hui que la première réaction de synthèse est la combinaison d'un atome de carbone C avec une molécule d'eau H^2O, suivant la formule $CO^2 + H^2O = CH^2O + O^2$, pour donner de l'aldéhyde formique ou formol CH^2O qui, par simple polymérisation, c'est-à-dire par association de ses molécules en nombre divers, sans ou avec élimination d'eau, peut donner tous les hydrates de carbone. C'est ainsi que deux molécules de formol représentent la substance d'une molécule d'acide acétique :

$2CH^2O = C^2H^4O^2$; trois molécules de formol représentent une molécule d'acide lactique : $3CH^2O = C^3H^6O^3$; six molécules de formol constituent le sucre de fruit glucose, lévulose, : $6CH^2O = C^6H^{12}O^6$; douze molécules de formol moins une molécule d'eau constituent la saccharose, la lactose, sucre de canne, de betterave, de lait : $12\ CH^2O = C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O$, etc.

Les animaux empruntent leur nourriture aux végétaux soit directement, soit indirectement par la chair des herbivores ; cette matière alimentaire, rendue organique par les végétaux, est ramenée à l'état minéral par les animaux qui la restitue sous forme d'acide carbonique d'eau et d'urée puis de nitrates. Les végétaux sont donc surtout des agents de synthèse, les animaux des agents de décomposition. Là encore la différence n'est que relative, car les végétaux produisent aussi de l'acide carbonique, les animaux effectuent certaines synthèses, et il existe des êtres intermédiaires comme les champignons qui, comme les animaux, sont dépourvus d'assimilation chlorophillienne et se nourrissent de matières organiques, et qui cependant peuvent, comme les végétaux, fabriquer des matières albuminoïdes avec des sels minéraux.

Les microbes achèvent la combustion, les oxydations, la minéralisation commencée par les animaux.

En résumé, les végétaux se nourrissent de substances minérales ; ces substances ils les désoxydent, les chargent de l'énergie solaire, les déminéralisent ; les animaux, puis les microbes réoxydent ces substances et les rendent au monde minéral, l'oxygène et l'hydrogène à l'état d'eau, le carbone à l'état de carbonates, l'azote à l'état d'azotates, le soufre à l'état de sulfates.

Ainsi la matière circule éternellement du minéral au végétal, du végétal à l'animal, puis elle retourne au minéral. La matière qui nous constitue, qui fait aujourd'hui notre moi, a constitué avant nous une infinité

d'êtres divers et poursuivra cette destinée après nous.

La combinaison du carbone avec l'eau, et les synthèses organiques réalisées par les parties vertes des végétaux, ne se font qu'avec absorption d'énergie et cette énergie, les plantes la prennent à la lumière solaire, aux rayons rouges et orangés qu'absorbe la chlorophylle. C'est au peu de lumière, au peu d'énergie, en même temps qu'à l'abaissement de la température, qu'est dû l'arrêt de la végétation pendant l'hiver. C'est en empêchant l'absorption par les plantes de l'énergie rayonnante que les corps qui portent ombre nuisent d'une façon si marquée à la végétation. Les plantes accumulent dans leurs tissus l'énergie rayonnée par le soleil, cette énergie est utilisée plus tard par les animaux qui se nourrissent des plantes, et dont il rejette la substance dépouillée de son énergie, toute l'énergie qui anime les êtres vivants et qui constitue les manifestations de la vie vient du soleil. Nous sommes tous les enfants du soleil. C'est aussi l'énergie solaire emmagasinée par les plantes que nous utilisons dans nos foyers lorsque nous y brûlons du bois ou du charbon.

C'est en énergie chimique que les végétaux transforment l'énergie rayonnante qui vient du soleil, c'est de cette énergie chimique que s'alimente l'activité vitale des animaux, ils la rendent au monde extérieur sous forme de travail mécanique accompli par les contractions musculaires, sous forme de chaleur abandonnée au milieu, sous forme de lumière par les animaux lumineux, les vers luisants ou lampyres, les noctiluques, les poissons des grandes profondeurs, enfin sous forme d'énergie électrique comme le font d'une façon si marquée les différents poissons électriques.

La forme des minéraux est la forme cristalline, géométrique, limitée par des plans, des droites, des sommets anguleux, des arêtes vives, des angles réguliers. Les êtres vivants, au contraire, ont des formes moins régulières, des surfaces

courbes, des angles arrondis ; la raison physique de ces différences est dans la consistance, les cristaux sont solides, les êtres vivants semi-liquides et liquides. Les liquides de la nature, les flots, les gouttes de rosées affectent des formes arrondies comme celles des êtres vivants. Les êtres vivants présentent des symétries remarquables ; beaucoup d'êtres inférieurs les radiolaires, les astéries, les oursins, ont une forme rayonnée, des parties semblables sont disposées suivant des rayons autour d'un axe, de sorte qu'en faisant tourner l'être vivant autour de cet axe, ses formes se superposent un certain nombre de fois pendant un tour complet, le plus souvent cinq fois. Il est remarquable de retrouver souvent ce chiffre cinq dans la division en parties des êtres vivants. La plupart des fleurs présentent également la disposition rayonnée, symétrique, permettant les superpositions successives par rotation autour d'un axe. Dans beaucoup d'êtres vivants, des parties plus ou moins semblables sont disposées les unes à la suite des autres suivant une même ligne, il en résulte une symétrie de part et d'autre d'un plan, de parties homologues non superposables.

La forme est le caractère le plus important des êtres vivants, les naturalistes le proclament implicitement en établissant leurs classifications, leurs divisions en genre et en espèces d'après les différences et les analogies de forme.

Les êtres vivants sont constitués par des organismes élémentaires que l'on appelle cellules. La cellule à l'état complet est formée d'une membrane d'enveloppe, d'une masse protoplasmique dans laquelle se trouve un amas de matière différenciée qui constitue le noyau, celui-ci peut aussi contenir un nucléole ; on observe des masses protoplasmiques n'ayant pas d'enveloppe, de sorte qu'aujourd'hui on étend la désignation cellule à toute masse protoplasmique pourvue d'un noyau. Il existe des êtres monocellulaires, chez lesquelles une seule cellule accomplit

toutes les fonctions de la vie ; mais la pulpart des êtres vivants sont formés par des réunions de cellules innombrables, par des associations cellulaires. Lorsque de nombreuses cellules sont ainsi réunies pour constituer un être vivant, les différentes fonctions de la vie se trouvent partagées entre différents groupes cellulaires ; certaines cellules se spécialisent dans l'accomplissement d'une seule fonction, comme la fonction est étroitement unie à la forme, à chaque fonction correspond une forme de cellule différente et il est facile de reconnaître par la forme, les cellules musculaires qui accomplissent les fonctions de mouvement, les cellules glandulaires préposées aux sécrétions, les cellules nerveuses, etc. Les cellules qui constituent les êtres vivants sont microscopiques et il est remarquable qu'elles n'atteignent jamais de grandes dimensions.

Pour que la vie soit entretenue chez l'être vivant, il faut un apport constant de certaines substances qui constituent les aliments et l'élimination constante des substances usées qui représentent les déchets de la vie. Pour pouvoir être absorbés et assimilés par l'être vivant, les aliments doivent être amenés à l'état liquide, de sorte que la condition nécessaire à l'entretien de la vie est le contact de la substance vivante avec un courant de liquide. Le contact entre des liquides différents, tel est le phénomène physique élémentaire de la vie, le phénomène fondamental sans lequel ne peuvent avoir lieu ni les transformations chimiques, ni les transformations énergétiques ; c'est dans la connaissance de tous les effets de ce contact que réside le secret de la vie. La physique de la vie, c'est la physique des phénomènes qui s'accomplissent dans les liquides de l'organisme. L'étude physique des liquides doit être la préface, la base même de l'étude de la vie.

CHAPITRE II

Les Solutions

Nous avons vu que les êtres vivants sont des transformateurs d'énergie et de matière, à forme évolutive, de consistance liquide, constitués par des solutions de colloïdes et de cristalloïdes, et des membranes osmotiques formant des cellules microscopiques pouvant ne consister qu'en une masse de protoplasma gélatineuse avec un noyau de matière différenciée. Le phénomène élémentaire de la vie est le contact entre deux solutions différentes, c'est le phénomène physique initial dont découlent, suivant les lois de la physique et de la chimie, toute la série des phénomènes qui constituent la vie. L'étude des solutions et des phénomènes qui se passent lors de leur contact immédiat ou lorsqu'elles sont séparées par des membranes osmotiques est donc la préface, la base même des études biologiques.

Une solution est un mélange parfaitement homogène formé d'un liquide dissolvant ou solvant, et d'une ou plusieurs substances, corps dissous, qui pouvaient être préalablement à l'état solide, liquide ou gazeux.

Les solutions se divisent en solutions de substances non cristallisables ou colloïdes et en solutions de substances cristallisables, ou cristalloïdes. Les solutions de cristalloïdes se divisent elles-mêmes en solution de substances non conductrices de l'électricité, solutions de la plupart des substances organiques cristallisables, telles que les solu-

tions de sucre, d'urée ; et en solutions conductrices de l'électricité, solution des sels, des acides et des bases.

La considération des propriétés physiques a conduit Avogadro à admettre que, dans les mêmes conditions de température et de pression, des volumes égaux de gaz différents, contiennent toujours le même nombre de molécules. Les poids moléculaires des différents corps sont donc entre eux comme les poids de volumes égaux de ces corps à l'état gazeux, dans les mêmes conditions de température et de pression et, en fixant arbitrairement le poids moléculaire d'un corps, tous les autres poids moléculaires se trouvent déterminés. On a fixé à deux grammes le poids moléculaire de l'hydrogène et le poids moléculaire d'un corps quelconque se trouve être le double de la densité de ce corps à l'état gazeux par rapport à l'hydrogène. Par abrévation on désigne sous le nom de molécule gramme, ou simplement comme une molécule, le poids moléculaire en gramme d'un corps.

La concentration est le rapport entre une quantité de substance dissoute et la quantité correspondante du dissolvant. On a exprimé de façon très différentes la concentration par le poids de substance dissoute dans cent grammes du solvant, ou dans cent grammes de la solution, ou dans un litre de solvant, ou dans un litre de solution. C'est encore un usage très général d'exprimer la concentration par le poids de substance dissoute dans cent grammes, ou dans un litre d'eau. Un grand nombre de propriétés physiques et biologiques des solutions sont proportionnelles, non pas à la concentration en poids, mais à la concentration moléculaire des solutions, au nombre de molécules grammes par litre de solution. Un certain nombre de ces propriétés sont même indépendantes de la nature de la substance dissoute et ne dépendent que de la concentration moléculaire.

On appelle solution normale une solution qui contient

une molécule gramme par litre ; par exemple, 342 gr. de sucre, ou soixante grammes d'urée ; une solution décinormale contient un dixième de molécule par litre, une solution centinormale un centième.

M. Van T. Hoff, utilisant des mesures faites par le botaniste Pfeffer, a fait remarquer que dans une solution la matière dissoute se comporte exactement comme un gaz. L'analogie entre les substances dissoutes et les gaz est complète : les molécules des corps dissous sont mobiles les unes par par rapport aux autres, comme les molécules des gaz ; elles ont, comme les molécules des gaz, une tendance à se répandre d'une façon homogène pour occuper tout l'espace que leur offre le volume du dissolvant, lequel représente le vase renfermant un gaz ; comme les molécules de gaz, les molécules des corps dissous exercent, sur les limites des espaces qui les renferment, une pression, dite pression osmotique. Cette pression osmotique suit exactement les mêmes lois que la pression des gaz, elle a exactement les mêmes constantes ; toutes les notions acquises par l'étude de la pression des gaz sont applicables aux pressions osmotiques des substances dissoutes.

Quand un gaz se dilate, augmente de volume, sa température s'abaisse, il y a production de froid. Quand un corps soluble se dissout, augmente de volume, la température du liquide s'abaisse, c'est ce phénomène que l'on utilise pour la production du froid au moyen des mélanges réfrigérants.

Puisque les lois des gaz régissent les substances dissoutes, elles régissent les phénomènes de la vie qui tous se passent dans des solutions, elles prennent place parmi les lois fondamentales de la biologie, et les physiologistes doivent être familiers avec elles.

Loi de Boyle-Mariotte — Lorsqu'on comprime un volume de gaz ce volume diminue, lorsque la pression est devenue deux fois plus forte le volume est deux fois moindre,

lorsque la pression est trois fois plus forte le volume est trois fois moindre, c'est la loi de Mariotte. Le produit du volume d'un gaz par sa pression est un chiffre invariable, une valeur constante puisque lorsqu'un des facteurs varie, l'autre varie dans la même proportion en sens inverse. On peut écrire volume multiplié par pression égale constante.

Loi de Gay-Lussac. — Lorsque la pression reste la même pour une même variation de température, tous les gaz, quelle que soit leur nature, se dilatent ou se contractent dans la même proportion, soit, pour une masse donnée de gaz par degré centigrade, d'un deux cent soixante-treizième du volume à zéro.

Loi de Dalton Henry. — Lorsqu'un mélange de plusieurs gaz occupe un espace déterminé, la pression du mélange est égale à la somme des pressions qu'aurait chaque gaz s'il occupait seul le volume du mélange tout entier.

Proportionnalité de la pression à la concentration moléculaire. — Les lois de Mariotte, de Gay-Lussac, de Dalton Henry sont complètement indépendantes de la nature chimique des gaz, elles ne dépendent que de l'état physique, que du nombre des molécules de gaz dans un volume donné, que de la concentration moléculaire. Quand, dans un espace donné, on a doublé ou triplé la masse d'un gaz, c'est-à-dire le nombre des molécules, on a doublé ou triplé la pression, et cela quelle que soit la nature des molécules. La pression est également doublée ou triplée si l'on concentre les molécules d'un gaz ou de plusieurs gaz dans un espace deux ou trois fois plus petit. Le rapport du nombre des molécules au volume qu'elles occupent constitue la concentration moléculaire d'un gaz ou d'un mélange de gaz ; la pression d'un gaz ou d'un mélange de gaz est toujours proportionnelle à la concentration moléculaire. Cet énoncé comprend à la fois la loi de Mariotte et celle de Dalton Henry.

Une molécule d'un gaz quelconque, condensée sous le volume d'un litre, a une pression de 22 atmosphères 35 cen-

tièmes. Une molécule d'un corps dissout dans un litre d'eau offre également une pression osmotique égale à 22 at. 35.

Zéro absolu. D'après la loi de Gay-Lussac, lorsqu'on refroidit un gaz, pour chaque degré centigrade dont s'abaisse la température, son volume diminue de la 273e partie de ce qu'il est à zéro ; en supposant que la même contraction se poursuive à toutes les températures, il en résulte qu'à 273° au-dessous du zéro centigrade, le volume doit être contracté des $\frac{273}{273}$, c'est-à-dire réduit à zéro ; c'est cette température de 273° centigrades au-dessous de celle de la glace fondante que l'on désigne comme le zéro absolu : les températures comptées à partir de ce point sont désignées par T, et sont égales à $t^o + 273$, t^o étant la température comptée à partir du zéro centigrade, température de la glace fondante. Il y a souvent un grand intérêt en physique biologique, à compter les températures à partir du zéro absolu.

Formule générale des gaz. — Considérons une masse de gaz ayant à zéro degré centigrade, sous la pression H_o, un volume V_o, comme, à partir du zéro absolu, le volume de ce gaz augmente de $\frac{V^o}{273}$ par chaque degré centigrade d'élévation de la température, à la température absolue T le volume de ce gaz sera $\frac{V_o \times T}{273}$, et le produit, $\frac{H^o V^o T}{273}$ représente la valeur constante du produit de la pression par le volume. Si nous considérons ce même gaz, à la même température T sous une autre pression H, il aura alors un autre volume V et, d'après la loi de Mariotte, nous aurons toujours $VH = \frac{H^o V_o T}{273}$. La quantité $\frac{H^o V^o}{273}$ est constante pour une masse de gaz donné, c'est cette grandeur que l'on désigne sous le nom de constante de gaz et que l'on représente par le symbole R, la formule devient alors : $VH = RT$. Prenons comme masse de gaz une molécule, c'est-à-dire le poids moléculaire en gramme du gaz considéré, à zéro degrés, sous le volume d'un litre.

une molécule gramme de substance à l'état gazeux a une pression de 22 atmosphères trente-cinq centièmes, et, pour la température zéro centigrade ou 273° absolus, l'égalité $VH = RT$ donne $R = \frac{1 \times 22{,}35}{273} = 0{,}0819$, valeur numérique de la constante R des gaz, les volumes étant mesurés en litres et les pressions en atmosphères.

Les substances dissoutes se comportent comme les gaz, elles en suivent toutes les lois, elles ont exactement les mêmes constantes ; toutes les notions acquises par l'étude des gaz sont applicables aux solutions, et par conséquent aux phénomènes de la vie. L'analogue de la pression des gaz c'est la pression osmotique, c'est la tension, la force avec laquelle les substances dissoutes tendent à se répandre dans l'espace qui leur est offert et pressent sur les limites de cet espace. L'analogue de la chaudière, du récipient dans lesquels nous enfermons une vapeur ou un gaz, c'est le solvant, les limites du solvant représentent les parois infranchissables de la chaudière. Pour constater et pour mesurer la pression d'une vapeur ou d'un gaz, on se sert d'un manomètre que l'on applique aux parois de la chaudière. Pour constater ou mesurer la pression osmotique, on emploie un manomètre semblable et un dispositif qui permet au solvant d'augmenter de volume et de pénétrer dans le manomètre en même temps que la matière dissoute et sous l'influence de la pression de celle-ci. A cet effet, on emploie le dispositif de Pfeffer : c'est un vase en porcelaine poreuse, dans lequel on place par exemple une solution de sucre, ce vase est fermé par un solide bouchon hermétique, traversé par le tube d'un manomètre à mercure, tous les pores de la porcelaine sont remplis d'une solution colloïdale de ferrocyanure de cuivre qui se laisse bien traverser par l'eau, mais ne laisse pas passer le sucre ; le vase est plongé dans l'eau ; par suite de la possibilité de pénétration de l'eau à travers les parois du vase, la quantité

de solvant à l'intérieur peut varier, si aucun obstacle mécanique ne s'y oppose, elle peut augmenter ou diminuer, le volume du solvant qui renferme la substance dissoute est devenu extensible et peut céder à la pression osmotique, c'est ce qui a lieu, sous l'influence de la pression osmotique du sucre ; de l'eau est appelée vers l'intérieur, comme l'air dans un soufflet dont on écarte les parois, le volume de la solution augmente, celle-ci pénètre dans le tube du manomètre, et cela jusqu'à ce que la dénivellation du mercure fasse équilibre à la pression osmotique. cette dénivellation permet ainsi la mesure de la pression osmotique. Cette pression osmotique suit les lois qui régissent la pression des gaz, les lois de Mariotte, de Dalton Henry, de Gay-Lussac, son coefficient de variation par la chaleur est exactement le même que celui des gaz ; la formule des gaz PV=RT lui est applicable, la valeur de la constante R est exactement la même que pour les gaz : 0,0819 pour la température zéro, le volume en litres, la pression mesurée en atmosphères. La formule PV=RT montre que pour une masse donnée, sous le même volume, la pression augmente proportionnellement à la température absolue.

Une solution sucrée normale contenant 342 gr. de sucre par litre de solution a une pression osmotique de 22 $^{at.}$ 35, et l'on doit se demander comment des pressions aussi énormes ne se manifestent pas plus bruyamment ; c'est que, dans les liquides, la résistance par frottement est également énorme, et d'autant plus grande que les surfaces de contact sont plus grandes, or la surface augmente considérablement par la division de la substance, et la substance dissoute, divisée en molécules extrêmement petites a avec le solvant une surface de frottement énorme.

Lorsque deux solutions ont la même pression osmotique, on dit qu'elles sont isotoniques ou isosmotiques ; on dit qu'une solution est hypertonique par rapport à une autre

lorsque sa pression osmotique est plus forte, hypotonique lorsqu'elle est plus faible.

L'eau pure se congèle à zéro degré, ainsi que l'a montré M. Raoult, la dissolution dans l'eau d'une substance comme le sucre, l'alcool, dont la solution ne conduit pas l'électricité, abaisse la température de congélation de la solution, proportionnellement à la concentration moléculaire ; l'abaissement du point de congélation est de 1°85 pour une solution normale, c'est-à-dire pour une molécule par litre. La mesure de l'abaissement de la température de congélation des solutions s'appelle la cryoscopie.

La température de congélation du sang humain est — 0°56, sa concentration moléculaire est $\frac{0,56}{1,85} = 0,30$, un peu moins d'un tiers de molécule par litre ; sa pression osmotique est à zéro degré égale à $0,3 \times 22,35$, soit $6^{at.}705$; pour avoir la pression à 37° il faut ajouter à ce chiffre son produit par le coefficient d'augmentation de la pression osmotique, lequel est le même que celui des gaz, 0,00367, ce chiffre multiplié par 37 donne 0,90, ce qui, ajouté à 6,705, donne $7^{at.}$ 60 pour la pression du sang à 37° centigrades.

Sous la pression d'un atmosphère l'eau bout à 100°, la dissolution dans l'eau d'une substance dont la solution ne conduit pas l'électricité élève la température d'ébullition de la solution proportionnellement à la concentration moléculaire de la substance dissoute.

Un liquide entre toujours en ébullition à la température à laquelle la tension de sa vapeur est égale à celle de l'atmosphère superposé. Puisqu'une solution aqueuse, sous la pression d'une atmosphère n'entre pas en ébullition à 100°, c'est qu'à cette température la tension de sa vapeur est inférieure à une atmosphère. La dissolution dans l'eau d'une subtance dont la solution ne conduit pas l'électricité abaisse la tension de la vapeur proportionnellement à

la concentration moléculaire de la substance dissoute.

En résumé : 1° la concentration moléculaire ;
2° la tension osmotique ;
3° l'abaissement de la tension de vapeur ;
4° l'élévation du point d'ébullition ;
5° l'abaissement du point de congélation ;

sont des grandeurs qui varient proportionnellement, de telle sorte que lorsque la grandeur de la variation est déterminée pour l'une de ces grandeurs, elle l'est pour toutes les autres.

Cryoscopie. — C'est surtout la cryoscopie, ou mesure du point de congélation des solutions, qui est employée en biolog e pour la détermination des concentrations moléculaires et des pressions osmotiques.

On emploie pour la cryoscopie des thermomètres d'une très grande sensibilité, divisés en $\frac{1}{100}$ ou $\frac{1}{50}$ de degrés, dont la tige ne porte qu'une échelle fractionnée, ayant une étendue de 5° par exemple. Le réservoir du thermomètre plonge dans le tube contenant la solution à congeler celui-ci est placé dans un second tube plus large, de façon à être entouré d'une couche d'air, et le tout est fixé au couvercle du vase réfrigérant dans lequel le froid est produit soit par un mélange réfrigérant, soit par l'évaporation de l'éther. On commence par déterminer le point de congélation de l'eau distillée. Pendant toute la durée du refroidissement, le liquide est agité au moyen d'un agitateur. Par le refroidissement le mercure descend lentement au-dessous du point de congélation de l'eau ; aussitôt que la glace commence à se former, le mercure remonte, d'abord rapidement, puis lentement, s'arrête à un maximum, et descend de nouveau. Le maximum ainsi atteint est le point de congélation de l'eau. On vide ensuite le tube pour y mettre la solution, mais en ayant soin d'y laisser quelques petits cristaux de glace, par la présence desquels

la surfusion de la solution sera moindre et la détermination du point de congélation plus exacte. La différence entre la température de congélation de la solution et celle de l'eau est l'abaissement du point de congélation cherché.

La cryoscopie est la méthode surtout employée en biologie, elle a cependant de graves défauts, elle exige plusieurs centimètres cubes de liquide, et elle étudie les solutions à la température de zéro, température éloignée de celle de la vie ; les liquides organiques sont extrêmement altérables, extrêmement sensibles aux moindres différences de température, et les résultats de la cryoscopie ne nous renseignent pas sur les conditions normales. Il est désirable d'avoir d'autres méthodes, permettant de déterminer les concentrations moléculaires et les grandeurs proportionnelles, aux températures de la vie, comme le serait par exemple les déterminations des tensions de vapeurs.

Abaissement moléculaire du point de congélation. — Pour toute substance dont les solutions ne conduisent pas l'électricité, l'abaissement du point de congélation des solutions normales, à une molécule par litre, est le même 1°,85.

Détermination de la concentration moléculaire. — La constance de l'abaissement du point de congélation de la solution normale permet de déterminer par la cryoscopie la concentration moléculaire d'une solution quelconque ne conduisant pas l'électricité. Il suffit de déterminer l'abaissement du point de congélation de cette solution, et de diviser ce résultat par 1,85, la solution contient exactement autant de molécules par litre que l'abaissement de sa température de congélation contient de fois 1,85 : $n = \frac{A}{1.85}$; n nombre de molécules par litre, A abaissement du point de congélation.

Détermination de la pression osmotique. — La concentration moléculaire n étant connue, il suffit de la multiplier

par $22^{at.}35$, pression osmotique de la solution normale, pour avoir la pression osmotique de la solution considérée $P = n \times 22{,}35 = \frac{A}{1{,}85} \times 22{,}35$.

Détermination, par la cryoscopie, des poids moléculaires des substances dont les solutions ne conduisent pas l'électricité. — Avec un poids déterminé de substance, faisons une solution d'un litre, déterminons l'abaissement du point de congélation de cette solution, divisons cet abaissement par 1,85, nous avons le nombre de molécules par litre, divisons le poids de la substance par le nombre de molécules, nous avons le poids moléculaire. M. le professeur Bouchard a employé cette méthode pour déterminer le poids moléculaire moyen des molécules éliminées par l'urine.

La connaissance de la pression osmotique a pour point de départ les études de notre concitoyen l'abbé Nollet, et un de ses disciples, Parrot, entrevoit déjà son importance lorsqu'il écrit, à propos de la force que manifestent les substances dissoutes dans les liquides : « C'est une force analogue aux forces mécaniques, force susceptible de mettre la matière en mouvement, ou d'agir à l'état statique pour produire des pressions. C'est cette force qui fait circuler la matière hétérogène, dans les liquides qui lui servent de véhicules ; c'est d'elle qu'émanent toutes les actions qui nous échappent par leur petitesse et nous étonnent par leurs résultats : elle est pour les masses infiniment petites de la matière, ce qu'est pour les grosses la gravitation ; et dans son activité, elle se joue de cette force puissante ; en dépit de la pesanteur, elle déplace dans les liquides la matière aussi bien en haut qu'en bas ou dans un direction quelconque. »

L'assimilation au gaz des substances dissoutes nous a, d'un seul coup, fait connaître toutes les lois de la pression

osmotique, lois laborieusement découvertes par l'étude des gaz.

La pression osmotique est partout en jeu chez les êtres vivants, on la trouve en action dans tous les phénomènes de la vie ; où elle disparaît, la vie s'éteint.

CHAPITRE III

Les Solutions électrolytiques

Les solutions conductrices de l'électricité. — Les lois des solutions que nous avons étudiées ne s'appliquent qu'aux solutions de substances organiques non conductrices de l'électricité. Les sels, les acides et les bases dont les solutions aqueuses conduisent l'électricité et constituent les électrolytes, donnent, relativement aux diverses grandeurs étudiées, des résultats différents de ceux que la théorie ferait prévoir.

Prenons une molécule gramme d'une substance électrolytique, de chlorure de sodium, faisons une solution d'un litre, l'abaissement du point de congélation ne sera pas 1°85, il sera notablement plus grand, presque double ; il en sera de même de la pression osmotique et de toutes les grandeurs qui varient proportionnellement à la concentration moléculaire ; notre solution, dans laquelle nous avons mis une molécule par litre, se comporte comme si elle en contenait davantage, comme si elle était plus concentrée, comme si pour chaque molécule mise dans la solution elle contenait un nombre de fois i de molécules, i étant un nombre par lequel il faudrait multiplier le nombre mis pour avoir le nombre qui se manifeste ; toutes les grandeurs proportionnelles à la concentration moléculaire, pression osmotique, etc., doivent aussi, dans les électrolytes, pour correspondre à la réalité, être multipliées par le coefficient i.

Dissociation. — Pareil cas s'est présenté pour les vapeurs, en particulier pour les vapeurs de chlorure d'ammonium, et l'on a pu reconnaître expérimentalement que l'augmentation de la pression correspondait bien à une augmentation du nombre des molécules gazeuses ; une partie des molécules de la vapeur originelle se décomposant, se dissociant en deux ou plusieurs fragments qui jouent chacun le rôle de molécule dans la masse totale. Svante Arrhenius émit, en 1885, l'idée que la manifestation de l'augmentation du nombre des molécules d'une substance dissoute devait également être due à la dissociation de cette substance. Cette interprétation donna immédiatement l'explication d'un grand nombre de phénomènes jusque là obscurs.

Coefficient de dissociation. — Le coefficient i par lequel il faut multiplier le nombre des molécules introduites dans une solution pour avoir le nombre des molécules qui s'y manifestent, donne la proportion dans laquelle le nombre des molécules a augmenté par la dissociation ; on l'appelle le coefficient de dissociation ; il est égal à l'abaissement du point de congélation t d'une solution électrolytique contenant une molécule gramme divisé par 1,85 : $i = \frac{t}{1,85}$. On voit que lorsque $i = 1$, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de dissociation, $t = 1,85$.

Le coefficient i varie avec la concentration et augmente jusqu'à un maximum lorsqu'on étend de plus en plus la solution.

Connaissant i pour une substance et pour chaque degré de concentration, on saura qu'en dissolvant n molécules dans un litre d'eau, la solution se comportera comme si elle contenait un nombre de molécules $n' = in$; et réciproquement si les propriétés d'une substance dissociable manifestent la présence de n' molécules, nous saurons que le nombre réel des molécules chimiques en solution est $n = \frac{n'}{i}$.

Les solutions très concentrées s'écartent des lois que nous venons d'étudier et par là conservent leurs analogies avec les gaz qui suivent d'autant moins exactement les lois dites des gaz qu'ils se rapprochent davantage de leur point de condensation.

Electrolyse. — Lorsque dans une solution aqueuse de sel, d'acide ou de base, on plonge deux tiges conductrices, mises en communication l'une avec le pôle positif d'une source électrique, l'autre avec le pôle négatif, les métaux, ou les radicaux métalliques des substances en solutions sont libérés autour de la tige en rapport avec le pôle négatif, les radicaux des sels ou des acides, l'hydroxyle OH des bases, sont libérés autour de la tige en rapport avec le pôle positif. Les substances libérées se dégagent ou entrent dans de nouvelles combinaisons, formant ainsi ce qu'on appelle des réactions secondaires.

Electrolytes. — Les solutions conductrices de l'électricité s'appellent électrolytes, les tiges qui y plongent électrodes, Faraday a appelé ions les atomes ou groupement d'atomes libérés autour des électrodes ; anions ceux qui se rendent à l'électrode positive appelée anode, cations ceux qui se rendent à l'électrode négative appelée catode. Les solutions aqueuses de sels, d'acides et de bases ont seules une conductibilité électrique notable ; pour elles seules également, les phénomènes que nous avons précédemment étudiés, tension osmotique, abaissement du point de congélation, etc., manifestent la présence d'un nombre de molécules plus grand que celui qui devrait s'y trouver d'après le poids de la substance dissoute : c'est ce que l'on a interprété par la dissociation, ou division d'un certain nombre de molécules en plusieurs fragments, dont chacun joue le rôle d'une molécule et contribue à produire la tension osmotique, l'abaissement du point de congélation et tous les phénomènes proportionnels à la concentration moléculaire.

Ces deux phénomènes, conductibilité électrique et dissociation, sont liés l'un à l'autre.

Théorie de l'électrolyse de Svante Arrhenius. — La théorie de l'électrolyse, formulée en 1885 par Svante Arrhenius, consiste à attribuer aux fragments de molécules provenant de la dissociation, et que l'on appelle des ions, le transport de l'électricité. D'après cette théorie, les ions portent des charges électriques : les uns sont chargés positivement, ce sont les cations ; les autres négativement, ce sont les anions ; en vertu des attractions entre les charges de signes contraires, et des répulsions entre les charges de même signe, les cations chargés positivement sont repoussés par la charge positive de l'anode et attirés par la charge négative de la catode, vers laquelle ils se rendent ; les anions négatifs sont repoussés par la catode et attirés par l'anode positive, vers laquelle ils se rendent. Une solution électrolytique contient trois sortes de particules : des molécules neutres non dissociées, des ions positifs ou cations, des ions négatifs ou anions. La concentration moléculaire et les grandeurs proportionnelles dépendent de la somme des molécules neutres et des ions. On indique les ions en leur superposant le signe de leur charge, un signe par valence, ou bien plus généralement on représente les charges négatives par une virgule et les charges positives par un point par valence, par exemple : NaCl donne deux ions, $Na^{+}\,Cl^{-}$ ou bien Na·Cl'. Le sulfate de cuivre $Cu\,SO^4$ donne $Cu^{\cdot\cdot}\,SO^{4\,''}$.

Mon distingué ami, M. Lewis Jones, de Londres, a donné dans Lancet une image très démonstrative d'une solution électrolytique qu'il compare à une salle de bal contenant des valseurs unis par couples et représentant les molécules neutres et un certain nombre de dames et de cavaliers isolés, représentant les ions dissociés. Si, à l'une des extrémités de la salle se découvre un magnifique miroir, à l'autre extrémité un buffet garni de champagne

et d'excellents cigares, les dames se dirigent vers le miroir, les messieurs vers le buffet, les couples de valseurs se dissocient pour suivre le mouvement et la salle présente l'image d'une solution électrolytique au moment du passage du courant.

Degré de dissociation. — On appelle degré de dissociation a le rapport du nombre n'' des molécules dissociées au nombre n des molécules dissoutes : $\frac{n''}{n} = a$. Si k représente le nombre d'ions que donne chaque molécule, on a toujours $\frac{n''k}{nk} = a$, et le degré de dissociation peut être défini le rapport du nombre des ions $n''k$ résultant de la dissociation au nombre nk des ions que donnerait une dissociation complète de toutes les molécules.

Une solution contenant n molécules donnant chacune en se dissociant k ions contient un nombre total de particules ou moles, $nak + n - an = n'$, ou $n[1 \times a(k-1)] = n' =$ d'où $\frac{n'}{n} = i = 1 \times a\ (k-1)$. Nous obtenons ainsi le coefficient de dissociation en fonction du degré de dissociation a et du nombre k des ions que donne chaque molécule.

Si le degré de dissociation $a = o$, $n' = n$ et $i = 1$. Si toutes les molécules sont dissociées $a = 1$ et $i = k$.

Loi de Faraday. — Faraday a énoncé la loi suivante : La quantité d'électricité nécessaire à la libération d'un radical quelconque est égale, pour chaque molécule gramme de ce radical à 96.537 coulombs par valence de ce radical.

Equivalent électrochimiqne. — L'équivalent électrochimique d'un radical est le poids de ce radical libéré par un coulomb ; il est égal au poids moléculaire de l'ion considéré, divisé par le nombre de ses valences et par 96.537.

Conductibilité électrolytique. — La conductibilité inverse de la résistance, $C = \frac{I}{R}$ d'un électrolyte est, pour une différence de potentiel donnée, proportionnelle : 1° au nombre des ions dans l'unité de volume ; 2° à la charge des ions ;

3° à la vitesse avec laquelle les ions se déplacent. La conductibilité spécifique Δ d'un électrolyte est celle d'un cube d'un centimètre de côté. On désigne par conductibilité moléculaire celle d'un électrolyte contenant une molécule gramme entre deux lames parallèles distantes d'un centimètre. La conductibilité moléculaire est indépendante du volume occupé par la molécule ; elle ne dépend que du degré de dissociation. La conductibilité moléculaire U est égale au produit du volume de la molécule par la conductibilité spécifique $U = V\,\Delta$, d'où Δ la conductibilité spécifique est égale à $\frac{U}{V}$, c'est-à-dire à la conductibilité moléculaire divisée par le volume.

La conductibilité étant proportionnelle aux nombre des ions dans le volume moléculaire en désignant par Mv la conductibilité pour le volume V, par $M\infty$ la conductibilité pour la dissociation complète, nous avons $\frac{Mv}{M\infty} = \frac{n'' k}{n k} = \frac{n''}{n} = a$ degré de dissociation. C'est la loi d'Ostwald. Le degré de dissociation étant égal au rapport de la conductibilité moléculaire lorsque la molécule occupe le volume V, à la conductibilité pour la dissociation complète, on peut, par des mesures de conductibilité électrique, aussi bien que par la cryoscopie, déterminer le degré de dissociation et le coefficient de dissociation $i = 1 + a\,(k-1)$.

Vitesses des ions. — Si l'on sépare en deux par une cloison poreuse une cuve électrolytique, après la décomposition d'un ou plusieurs équivalents, on trouve une répartition inégale de la perte. Pour le sulfate de cuivre, par exemple, la cuve négative a subi les deux tiers de la perte de concentration, la cuve positive seulement un tiers. Dès 1853, Hittorf a donné de ce phénomène l'ingénieuse explication suivante :

$SO^{4''}$ $SO^{4''}$ $SO^{4''}$	$SO^{4''}$ $SO^{4''}$ $SO^{4''}$
$Cu^{\cdot\cdot}$ $Cu^{\cdot\cdot}$ $Cu^{\cdot\cdot}$	$Cu^{\cdot\cdot}$ $Cu^{\cdot\cdot}$ $Cu^{\cdot\cdot}$

FIGURE 1. — Avant le passage du courant.

La figure 1 représente une cuve électrolytique contenant du sulfate de cuivre, la ligue verticale indique la cloison poreuse séparant cette cuve en deux parties égales.

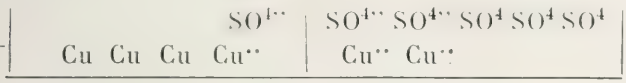


FIGURE 2. — Après le passage du courant.

La figure 2 montre la cuve après le passage du courant, en admettant que le radical acide se déplace deux fois plus vite que le cation, c'est-à-dire que deux radicaux acides traversent la cloison pour aller vers l'anode, pendant qu'un seul ion cuivre la traverse pour aller vers la catode. On voit que trois ions sont dégagés sur chaque électrode, mais, par suite de la différence de vitesse des ions, la moitié négative de la cuve ne contient plus qu'une molécule de sulfate de cuivre et a perdu les 2/3 de sa concentration, alors que la moitié positive en contient deux, ayant perdu 1/3 seulement de sa concentration. Les ions se meuvent donc en sens inverse avec des vitesses différentes, et l'on voit que les pertes de concentration n à la catode et $1—n$ à l'anode, sont entre elles dans le rapport de la vitesse u des anions, à celle v des cations : $\frac{n}{1-n}=\frac{u}{v}$, et l'on a, dans les pertes de concentration, le moyen de déterminer les rapports des vitesses des ions.

En 1876, Kohlrausch, en comparant dans des conditions identiques les conductibilités de sels formés de trois ou plusieurs anions unis successivement à plusieurs cations, par exemple :

Cl—k—Na—AzH^4
Br—k—Na—AzH^4
I—k—Na—AzH^4

la conductibilité des chlorure, bromure, iodure de potassium, celle des mêmes sels de sodium, puis d'ammo-

nium, etc., trouvait entre les différents sels d'un même cation les mêmes différences de conductibilité, lesquelles, par conséquent, ne dépendent que de la différence des anions, et se montrent indépendantes du cation auquel les anions sont unis. L'expérience analogue, faite avec trois ou plusieurs cations unis successivement à des anions différents, montre également entre les conductibilités des sels formés d'un même anion, mais avec des cations différents, des différences toujours les mêmes pour les mêmes cations, indépendantes par conséquent de l'anion auquel ils sont unis.

La loi de Kohlrausch se résume dans la formule $C = d(u+v)$, dans laquelle C est la conductibilité du sel, d la fraction de l'électrolyte dissociée en ion (degré de dissociation), u et v les vitesses des anions et des cations. Lorsque tout l'électrolyte est dissocié $d=1$ et la formule devient $C\infty = u+v$.

D'après ce que nous avons vu, les sels sont formés par l'union d'un métal M avec un radical acide R. Dans le sulfate de potassium K^2SO^4, par exemple, le métal est K^2, le radical SO^4 ; dans le chlorure d'ammonium AzH^4Cl, le radical métallique est AzH^4, le radical acide est Cl. Les acides peuvent être considérés comme des sels dont le métal est l'hydrogène ; l'acide sulfurique H^2SO^4 est du sulfate d'hydrogène ; les bases peuvent être considérées comme des sels dont l'acide est l'hydroxile OH, exemple : la potasse KOH. Nous pouvons donc représenter :

Les sels par le symbole		(RM)
Les acides	—	(RH)
Les bases	—	(OHM)

Toutes les actions chimiques des électrolytes sont des actions ioniques, et les solutions électrolytiques ont une activité chimique d'autant plus grande qu'elles contiennent plus d'ions, qu'elles sont plus dissociées, qu'elles conduisent

mieux l'électricité. La fonction acide est déterminée dans une solution par la présence de l'ion H· ; un acide est d'autant plus fort que les ions H· y sont plus concentrés, c'est-à-dire qu'il est plus dissocié.

La fonction basique est déterminée par la présence de l'ion hydroxile OH', une base est d'autant plus forte que les ions OH' y sont plus concentrés, c'est-à-dire qu'elle est plus dissociée.

Les ions H· et OH' ont une importance spéciale, ce sont les ions de l'eau, $H^{\cdot} + OH' = H^2O$. L'eau est très faiblement dissociée, elle représente cependant un réactif très important dans les actions chimiques de la vie, beaucoup de substances organiques étant décomposées par l'eau, hydrolyse. La plupart des innombrables substances organiques ne sont que des combinaisons du carbone avec les ions H· et OH', la diversité ne résultant que des proportions relatives et du mode de groupement.

Actions chimiques médicamenteuses et toxiques des ions. — Les actions chimiques, médicamenteuses, antiseptiques, toxiques des solutions électrolytiques sont presque exclusivement des actions ioniques. Ainsi, une solution de nitrate d'argent est précipitée par le chlore qui donne du chlorure d'argent, mais seulement dans les solutions comme celles du chlorure de sodium ou de potassium ou le chlore est à l'état d'ion chlore, Cl' ; dans les solutions de chlorate de potassium, d'acide chloracétique, où l'ion chlore fait partie d'ions complexes $ClO^{3'}$, $C^2H^3ClO^2$, une solution de nitrate d'argent ne détermine pas de précipité.

Les propriétés toxiques et pharmacologiques dépendent essentiellement des groupements ioniques ; ce n'est ni l'atome ni la molécule, c'est surtout l'ion le groupement important à connaître pour le biologiste et pour le médecin. Considérons les phosphures et les phosphates, les uns et les autres contiennent l'élément phosphore ; les uns sont

extrêmement toxiques, les autres n'ont aucune toxicité ; il n'existe aucune analogie entre leurs actions sur les êtres vivants. S'ils sont unis à des cations d'actions indifférentes ou faibles, tous les phosphures produisent les mêmes effets toxiques ou thérapeutiques : la même similitudes existe entre les actions des phosphates. C'est à l'ion phosphore que les phosphures doivent leurs propriétés thérapeutiques et toxiques ; la molécule des phosphates contient le phosphore dans la même proportion que celle des phosphures, mais ce phosphore fait partie d'un ion complexe $PO^{4'''}$ dont les propriétés sont absolument différentes de celle de l'ion phosphore des phosphures.

Ces remarques s'appliquent aux chlorures et aux chlorates, aux iodures et aux iodates, aux sulfures et aux sulfates et en général à tous les ions.

Il ne semble pas que la thérapeutique ait suffisamment tenu compte de ces faits, lorsqu'on administre un cacodylate, un anylarsinate, on n'institue pas une médication arsénicale dont on puisse attendre des effets semblables à ceux des arséniures, ou bien des arsénites, ou des arséniates, la différence des doses toxiques de ces diverses préparations l'indique suffisamment. à chaque ion différent dont l'arsenic fait partie, correspond une action physiologique et thérapeutique différente. Est-ce que l'on pourrait instituer une médication ferrugineuse avec des ferro ou des ferricyanures ; ils contiennent du fer ; cependant ils ne manifestent aucune des propriétés du cation fer, mais bien celles de l'anion complexe dont le fer fait partie.

Puisque les actions médicamenteuses toxiques, caustiques, des substances électrolytiques sont presque toujours des actions ioniques, elles ne se manifestent que lorsque ces substances sont dissociées en ions, or beaucoup de solvants employés en médecine : l'alcool, la vaseline, la glycérine, le chloroforme, dissolvent les substances

électrolytiques sans les dissocier. Ces solutions ne conduisent pas l'électricité. Avec l'absence de dissociation disparaissent les effets ioniques, toxiques, caustiques et médicamenteux qui ne se manifestent que lentement et progressivement lorsque l'eau des tissus vient effectuer la dissociation nécessaire.

Le phénol, dans la glycérine pure n'est presque pas caustique et très peu toxique, Nous avons observé plusieurs personnes ayant avalé une cuillerée à bouche de glycèrè au phénol à parties égales, sans accidents, ni caustiques ni toxiques ; la même dose étendue d'eau eut été mortelle. C'est par suite de l'absence de dissociation que les chirurgiens (Mencière) peuvent injecter le glycèrè au phénol à parties égales dans les grandes articulations, et qu'il faut ensuite laver ces articulations, non pas à l'eau, mais à l'alcool. En employant comme solvant la vaseline, les graisses ou la glycérine, et en évitant autant que possible l'accès de l'eau, on peut employer sans danger les antiseptiques électrolytiques à doses bien plus élevées qu'en solutions aqueuses, l'action s'exerce à mesure que l'eau de l'organisme effectue la dissociation.

Les actions chimiques, toxiques et médicamenteuses étant surtout des actions ioniques, sont proportionnelles à la concentration ionique, au nombre des ions dans un volume donné. Ces actions dépendent donc directement du degré de dissociation, c'est pour les électrolytes le degré d'activité chimique et d'activité médicamenteuse. Par exemple : tous les acides ont le même cation, l'ion hydrogène ; ils ont tous des propriétés identiques, mais leurs actions diffèrent par leurs intensités ; il existe des acides forts comme l'acide sulfurique, des acides faibles comme l'acide acétique ; les acides forts sont les acides très dissociés, dans les solutions desquels l'ion hydrogène est très concentré ; les acides faibles sont très peu dissociés, leurs solutions ne contiennent l'ion hydrogène que très dilué.

En 1896-97, Paul et Krönig ont montré que, comme l'activité des acides, l'action bactéricide des sels varie comme le degré de dissociation et est par conséquent attribuable à la concentration des ions actifs.

Par exemple, en étudiant l'action du bichlorure, du bibromure et du bicyanure de mercure sur les spores du bacillus anthracis, l'expérience donna, après l'action pendant vingt minutes d'une solution d'une molécule d'$HgCl^2$ dans 64 litres d'eau, 7 colonies. Après l'action pendant vingt minutes d'une solution de $Hg\ Br^2$ dans 64 litres d'eau, le nombre des colonies était de 34. Le bibromure exerce donc une action antiseptique près de cinq fois moindre que celle du bichlorure. Mais une solution de bicyanure de mercure, quatre fois plus concentrée, une molécule dans 16 litres d'eau, donne après vingt minutes d'action un nombre incomptable de colonies ; cette solution n'a donc exercé aucune action antiseptique appréciable. Après 85 minutes d'action, les solutions de $HgCl^2$ et $HgBr^2$ ne laissent aucune colonie se développer ; la solution plus concentrée de $HgCy^2$ laisse encore se développer 33 colonies. Dans toutes ces solutions, la proportion de Hg est la même, l'ion Cy' devrait être plus actif que Cl' et Br' ; la grandeur physique qui, dans ces solution varie parallèlement à leur activité, c'est le degré de dissociation. En réalité, l'ion actif, c'est l'ion $Hg^{\cdot\cdot}$, très concentré dans la solution notablement dissociée de $HgCl^2$, moins concentré dans la solution moins dissociée de $HgBr^2$, et enfin très dilué dans la solution très peu dissociée de $HgCy^2$.

Ce que l'expérience démontre pour les actions bactéricides des sels mercuriques, l'observation permet de le reconnaître pour leurs actions thérapeutiques, et l'on voit de quelle erreur on est victime lorsqu'on apprécie l'activité médicamenteuse d'une solution d'un sel de mercure, et d'une solution électrolytique en général, par la concen-

tration moléculaire, sans tenir compte du degré de dissociation, véritable coefficient d'activité.

Pour instituer un traitement mercuriel en injections intramusculaires par exemple, la préparation mercurielle à employer n'est pas indifférente ; il faut un sel très dissocié tel que le bichlorure ou le biiodure. On emploie d'autres sels pour la raison qu'ils n'occasionnent pas de douleur au lieu de l'injection, mais la douleur varie parallèlement au degré d'activité, en supprimant la douleur par l'emploi de sels non dissociés ou dans lesquels le mercure fait partie d'ions complexes, on supprime, ou tout au moins on diminue dans la même proportion que la douleur l'action efficace. Il est d'ailleurs facile d'atténuer et même de supprimer la douleur causée par les sels actifs, il suffit pour cela de les diluer suffisamment, au lieu d'employer des solutions au centième, on emploiera des solutions à un pour deux cents ou pour quatre cents et l'on injectera lentement deux fois ou quatre fois plus de liquide. L'action locale dépend de la concentration, une goutte d'acide sulfurique pur détruit les tissus, cette même goutte, dans un verre d'eau, est complètement inoffensive.

CHAPITRE IV

Les Colloïdes

Nous avons vu que les êtres vivants sont formés surtout de liquides et que ces liquides sont des solutions de substances cristallisables, cristalloïdes, qui se divisent en électrolytes et non électrolytes, et de substances non cristallisables, analogues à la colle et appelées colloïdes.

C'est à Graham, Philosoph Transact, vol. 151, 1861, que l'on doit la division des substances dissoutes en cristalloïdes et en colloïdes. La partie constituante liquide des êtres vivants est la plus importante, elle est le siège même des phénomènes de la vie, chimiques et physiques, c'est dans les liquides de l'organisme que s'accomplissent les transformations chimiques de la matière, et les transformations corrélatives de l'énergie. Nous avons étudié les substances cristalloïdes, nous devons apprendre à connaître les propriétés caractéristiques des colloïdes.

Colloïdes. — Par opposition aux cristalloïdes, les colloïdes ne cristallisent pas, et à l'état solide sont amorphes ; ils se solidifient sous la forme qu'ils ont à l'état liquide en enfermant leur solvant, l'eau dans leur masse, et conservent approximativement cette forme en se desséchant. Leur passage de l'état liquide, de solution, à l'état solide, s'effectue par une série d'états intermédiaires, c'est ainsi que, sous diverses influences, ils affectent une forme semi solide, une consistance de gelée constituant l'état coagulé, le passage de l'état de solution à l'état de

gelée constitue la coagulation. Certaines substances coagulent par le refroidissement comme la gélatine, d'autres par la chaleur comme l'albumine de l'œuf, d'autres par l'addition de certaines substances comme la caséïne du lait, d'autres en apparence spontanément comme la fibrine du sang sortie des vaisseaux. L'étude physique du phénomène de la coagulation est encore peu avancée. Pour certains colloïdes, la coagulation est un phénomène réversible, c'est ainsi que la gélatine coagulée par le refroidissement se redissout par la chaleur ; pour d'autres, le phénomène est irréversible, c'est ainsi que l'albumine de l'œuf coagulée par la chaleur, ne se redissout pas par le refroidissement. Les colloïdes coagulés ont une structure vacuolaire, car ils emprisonnent dans leur masse leur solvant qu'ils expulsent ensuite peu à peu par la réfraction du coagulum ou caillot.

Les colloïdes en solution dans l'eau constituent les solutions colloïdales, que l'on désigne aussi sous le nom de soles ou de pseudo-solutions, tandis que l'on désigne sous le nom de gels les colloïdes coagulés. Les colloïdes en solution se répandent très peu, diffusent très lentement dans les liquides, et ne traversent pas les membranes organiques.

Tandis que les solutions cristalloïdes ne diffusent pas la lumière, celle-ci est diffusée par les solutions colloïdales. Tout le monde a vu dans une chambre noire, le trajet d'un rayon de soleil rendu visible par l'éclairement des poussières voltigeant dans l'atmosphère, c'est la diffusion de la lumière du soleil dans toutes les directions par ces fines poussières qui les rend visibles, et cela d'autant plus que leur couleur blanche éclairée se projette avec un fort contraste sur le fond très noir de la chambre obscure ; c'est ce que les physiciens appellent le phénomène de Tyndall. Si l'on éclaire ainsi, par un rayon transversal, une solution cristalloïde regardée sur un fond noir, on ne voit rien,

on ne perçoit aucune lumière ; mais si c'est une solution colloïdale, la lumière est diffusée par la substance en solution, comme par la poussière en suspension dans l'air, et l'on voit la solution éclairée sur le fond noir. La lumière diffusée par les solutions colloïdales est polarisée, ce qui indique que c'est de la lumière réfléchie par des particules en suspension.

Le dispositif éclairage latéral et examen sur un fond noir est celui qui a été appliqué au microscope par MM. Siedentopf et Sigmondy et qui constitue ce que l'on a appelé l'ultra microscope. En examinant ainsi à l'ultra microscope les solutions colloïdales, on peut apercevoir les particules de la substance en solution et même les compter. Ce qui a fait dire que tandis que les solutions cristalloïdes étaient des solutions vraies, les solutions colloïdales n'étaient que des suspensions ou de pseudo solutions.

Les solutions colloïdales n'ont que des pressions osmotiques très faibles, l'abaissement du point de congélation et toutes les grandeurs proportionnelles sont aussi très faibles. Cela tient à ce que toutes les substances dites colloïdales ont un poids moléculaire très grand comparé à celui des substances cristallisables. Si par exemple le poids moléculaire d'une substance colloïdale est 2.000, une solution qui contiendrait 40 gr. par litre ne devrait avoir pour pression osmotique, abaissement du point de congélation, etc. que le cinquantième des valeurs correspondant à une solution normale d'une substance ayant pour poids moléculaire 40 gr.

Lorsqu'on cherche à déterminer la concentration moléculaire, la pression osmotique et les grandeurs proportionnelles des colloïdes en solution, on trouve le plus souvent des chiffres encore bien plus faibles que ceux calculés d'après le poids moléculaire déduit du poids des atomes constituant la molécule ; cela s'explique par la grande tendance à la polymérisation, c'est-à-dire aux

groupements, aux associations des molécules entre elles, que présentent les substances colloïdales. Si par exemple, les molécules d'une substance colloïdale en solution se réunissent par groupe de dix, et que chaque groupe au point de vue des propriétés physiques ne remplit que le rôle d'une simple molécule, la pression osmotique, l'abaissement du point de congélation et les grandeurs proportionnelles seront dix fois plus faibles qu'ils ne devraient être d'après le poids de la substance introduite. Nœgeli a donné le nom de micelles à ces groupements moléculaires.

Des phénomènes analogues de polymérisation s'observent dans les molécules des substances minérales. La molécule d'iode monoatomique vers 1200° est biatomique à la température ordinaire ; le soufre dont la densité de vapeur n'est que 2,2 à 860°, a une densité de 6,6 à 500°.

Lorsqu'avec une même solution colloïdale on répète les mesures de l'abaissement du point de congélation, on ne trouve pas les mêmes valeurs. Ceci s'explique par l'instabilité des micelles qui, sous les plus légères influences, absorbent ou abandonnent des molécules de façon à changer le nombre des molécules qui les constituent. Cette mobilité de la constitution micellaire des colloïdes semble être une des raisons principales des propriétés qui les caractérisent.

Ces phénomènes de polymérisation semblent d'ailleurs être des phénomènes réversibles ; sous une certaine influence ils se produisent, avec la disparition de l'influence revient l'état antérieur. La pression osmotique varie parallèlement, diminue lorsque la polymérisation se produit, augmente quand elle cesse. On comprend quel rôle capital peuvent avoir de pareils faits dans les phénomènes de la vie, et combien ils méritent d'être étudiés.

La plupart des substances colloïdales sont précipitées dans leurs solutions par l'addition de très petites quantités de certaines substances, en particulier de solutions

électrolytiques. Les substances non électrolytiques ne déterminent pas la précipitation. Il ne s'agit pas d'une action chimique, car une très petite quantité de solution électrolytique peut précipiter des quantités très grandes et très différentes de colloïdes. On a attribué aux charges électriques des ions la précipitation des colloïdes.

Lorsqu'on fait passer un courant électrique dans une solution colloïdale, les molécules du colloïde se déplacent, tantôt vers la catode, tantôt vers l'anode, suivant le colloïde et le solvant. Hardy a montré que les molécules d'albumine en solutions alcalines, se rendent à l'anode, en solutions acides à la catode. Ce déplacement des molécules colloïdales sous l'influence du courant électrique indique l'existence d'une différence de potentiel électrique entre ces molécules et le liquide dans lequel elles se trouvent.

Métaux à l'état colloïde. — Déjà par voie chimique, Carey Lea, puis Credé avaient obtenu l'argent en solution colloïdale. Le prof. Bredig a fait connaître (1) une méthode plus générale pour obtenir d'un grand nombre de métaux des solutions colloïdales très pures. Cette méthode consiste à produire un arc électrique entre deux tiges du métal plongées dans de l'eau distillée, la catode se pulvérise en poudre d'une très grande finesse qui reste en suspension dans l'eau et constituent la solution colloïdale. Bredig a ainsi préparé des soles de platine, palladium, Indium, argent, cadmium.

Propriétés catalytiques des colloïdes. — On désigne sous le nom de catalyse, la détermination de réactions chimiques par certaines substances qui agissent sans proportions définies avec les corps réagissant, sans se modifier en apparence par la réaction. Wilh Ostwald a fait observer que la ca-

(1) Bredig, *Anorganische Fermente.* Leipzig, Engelmann, 1901.

talyse consistait dans l'accélération ou le ralentissement de réactions chimiques qui, sans l'action du catalyseur s'effectuent cependant, mais avec lenteur et avec une vitesse déterminée.

Les réactions catalytiques sont très nombreuses : inversion du sucre de canne par les acides, action de l'acide sulfurique dans la fabrication de l'éther, décomposition de l'eau oxygénée par la mousse de platine, etc. La fermentation par les ferments solubles ou diastases, qui est un phénomène pour ainsi dire vital, tel que l'action de la pepsine, des ferments pancréatiques, de la zymase de Buchner, présente avec la catalyse les plus grandes analogies et peut par suite être éclairée par l'étude du phénomène purement physico-chimique qu'est la catalyse. Les diastases et un grand nombre de catalysateurs sont des colloïdes.

Les catalysateurs produisent en chimie un rôle très analogue à celui des énergies excitatrices par lesquelles de grandes masses d'énergie potentielle se dégagent sous forme d'énergie actuelle ; ils agissent comme la très petite quantité d'énergie qui, par la friction d'une allumette, fait sauter une poudrière.

M. Georg Bredig a étudié la décomposition catalytique de l'eau oxygénée par les métaux colloïdaux préparés par sa méthode électrique. (Anorganische Femente, 1901). Un gramme atome de platine colloïdal donne encore un effet catalytique très sensible lorsqu'il est dilué dans soixante-dix millions de litres d'eau. Bredig a trouvé que l'action catalytique du platine colloïdal par l'action de certaines substances, de soude, par exemple, était influencée exactement de la même manière que l'action de certaines diastases. C'est ainsi que les courbes des modifications éprouvées par la décomposition de l'eau oxygénée, par le platine colloïdal et par l'émulsine dans des liquides ayant différents degrés d'alcalinité sont identiques. Beau-

coup d'autres influences chimiques et physiques produisent des actions parallèles sur la catalyse par les métaux colloïdaux et sur les actions diastasiques ; c'est ainsi que de très petites proportions d'acide sulfhydrique ou d'acide cyanhydrique paralysent l'action des métaux colloïdaux comme celle des diastases ; c'est ce que M. Bredig appelle l'empoisonnement des ferments métalliques.

Dans son mémoire, il étudie un grand nombre d'empoisonnements parallèles des ferments métalliques et des diastases.

Les faits actuellement connus font présumer que ce sera l'étude de la catalyse, c'est-à-dire d'un phénomène purement physico-chimique qui nous révèlera le mécanisme physique des fermentations diastasiques.

Il ne faut pas oublier que toutes nos divisions sont artificielles, arbitraires, faites pour nous faciliter l'étude, cette observation s'applique à la division des substances solubles en cristalloïdes et en colloïdes, il n'y a pas de séparation nette entre ces groupes de deux substances ; le passage est graduel, il est mpossible de dire où un groupe finit et où l'autre commence ; beaucoup de colloïdes, comme l'hémoglobine, cristallisent, beaucoup de substances cristallisables se coagulent. Un très grand nombre de substances peuvent se présenter soit à l'état cristalloïde, soit à l'état colloïde, de sorte qu'au lieu de diviser les substances en colloïdes et cristalloïdes, il semble qu'il faille plutôt considérer ces expressions comme désignant des états différents que peut assumer une même substance.

Pour établir nos divisions on exagère les différences, on dit : les colloïdes n'ont pas de pression osmotique, ce qui conduirait à méconnaître des pressions osmotiques faibles qui peuvent et même qui doivent jouer un rôle important dans les phénomènes de la vie. N'est-ce pas à des pressions infiniment faibles, à des pressions de l'ordre

du millième de millimètre que les gaz nous permettent d'obtenir les rayons Röntgen. La division entre vraies et pseudo-solutions ou suspensions est également arbitraire, comment concevoir les solutions vraies, si ce n'est par la suspension de leurs molécules. il n'y a de différence que la grosseur des molécules, trop petites dans un cas, assez grosses dans l'autre cas, pour être vues et diffuser la lumière. D'ailleurs, il y a aussi passage graduel et propriétés communes entre les solutions colloïdales et les suspensions de poudres fines de kaolin. de mastic. de particules de charbon dans l'encre de chine. Ces particules en suspension sont précipitées par les électrolytes comme le sont les colloïdes.

A la surface des liquides, il existe généralement une couche très mince, une sorte de membrane différenciée du reste de la masse ; cette membrane peut être de nature chimique comme cela a lieu entre deux liquides, dits membranogènes, donnant au contact un précipité pelliculaire ; cette membrane peut être physique ; si nous considérons un liquide, chaque molécule, dans la masse, subit de toutes celles qui l'entourent des attractions qui constituent la cohésion et qui se neutralisent par leur opposition dans toutes les directions ; à la surface les molécules ne sont attirées que vers le centre du liquide et pas dans le sens opposé : il en résulte une pression normale à la surface. mécaniquement équivalente à une membrane élastique qui tendrait toujours à diminuer la surface du liquide et qui constitue ce que l'on a appelé la tension superficielle : cette tension représente une membrane physique. Lorsqu'il s'agit d'un liquide complexe, d'une solution, la concentration de la substance dissoute n'est pas la même à la surface que dans la masse, c'est ce qui constitue ce que l'on a appelé l'adsorption ; l'adsorption représente une autre différenciation physique de surface. une autre cause de membranes physiques.

L'état colloïdal paraît déterminé par la tendance à former, au contact de leurs solvants, ces membranes physiques ou chimiques, par suite desquels les liquides colloïdaux présentent une constitution vacuolaire.

CHAPITRE V

La diffusion et l'osmose

La diffusion et l'osmose. — Si l'on met un morceau de sucre au fond d'un verre d'eau, ce sucre se dissout et lentement se répand en égales proportions dans toute la masse de l'eau ; si l'on met dans un vase une solution concentrée de sulfate de cuivre et qu'avec soin on y superpose de l'eau pure, les deux liquides, au début nettement séparés par leurs différences de densité, se mélangent lentement, de façon à présenter dans toutes les parties de la masse exactement la même composition. Le phénomène par lequel le sucre, le sulfate de cuivre se répandent ainsi uniformément dans toute la masse du liquide, malgré l'action de la pesanteur, s'appelle la diffusion. La diffusion de la substance dissoute, analogue à l'expansion d'un gaz, est l'expression de la pression osmotique, ou plutôt des différences de pression osmotique de la substance dissoute dans les différentes parties du liquide, la substance dissoute se déplace des endroits où la pression osmotique est plus forte, vers ceux où elle est plus faible, l'eau se déplace des endroits de moindre pression osmotique vers les endroits de forte pression ; par suite de double déplacement, la pression s'égalise dans tous les points.

La diffusion s'observe dans tous les êtres vivants, dans tous les phénomènes de la vie, dont elle paraît être le phénomène physique fondamental. La connaissance de la diffusion dans tous ses détails, dans toutes ses particula-

rités est indispensable à la connaissance du phénomène de la vie.

Fick a appelé coefficient de diffusion la quantité de substance qui, dans l'unité de temps, traverse l'unité de section d'une colonne de liquide d'une unité de longueur, entre les deux extrémités de laquelle règne une unité de différence de concentration, ou, avec la modification de Nernst, une unité de différence de pression osmotique.

On admettait jusqu'ici que la diffusion se fait dans les colloïdes et dans les plasmas comme dans l'eau pure ; il est facile de reconnaître par l'expérience qu'il n'en est pas ainsi, les différences sont très grandes. Si l'on fait diffuser des gouttes d'une même solution alcaline dans de la gélatine à divers degrés de concentration, additionnée de phtahléïne du phénol, on constate, par la coloration, que la diffusion s'effectue d'autant moins vite que les solutions gélatineuses sont plus concentrées. La même démonstration s'obtient en faisant diffuser des gouttes d'acide sur de la gélatine légèrement alcalinisée et colorée par de la phthaléïne.

En général, des gouttes d'une même solution, colorée ou colorante, diffusant sur des plaques de gélatine à divers degrés de concentration donnent, dans un même temps, des cercles de diamètres d'autant plus grands que la solution gélatineuse est moins concentrée.

Un autre moyen de reconnaître que les vitesses de diffusion, de mêmes solutions, diminuent dans les solutions gélatineuses à mesure que la concentration de celles-ci augmente, consiste à faire diffuser, sur une même plaque, deux gouttes de solutions précipitant au contact, ferrocyanure de potassium et sulfate de cuivre par exemple, placées à une distance déterminée : la rencontre des liquides est nettement indiquée par l'apparition du trait formé par le précipité, et on constate que, pour les mêmes solutions et les mêmes distances, le temps entre l'ensemencement

des gouttes et la formation du précipité est d'autant plus long que les solutions gélatineuses sont plus concentrées.

En réalité, les colloïdes offrent à la diffusion des résistances variables avec leur nature et avec leurs concentrations.

Osmose. — En 1748, notre concitoyen, l'abbé Nollet, de Paimpré (Oise), découvrit que lorsqu'on plonge dans de l'eau une vessie de porc renfermant de l'alcool, de l'eau pénétrait à l'intérieur beaucoup plus rapidement que l'alcool ne pouvait sortir ; par l'augmentation de la masse liquide à l'intérieur, la vessie se distend, la pression augmente et, si l'on fait à la paroi une piqure d'épingle, le liquide jaillit avec force à l'extérieur. Ce phénomène, dans lequel certains liquides, certaines substances en solution traversent certaines membranes avec des vitesses différentes est ce qu'on appelle l'osmose, les membranes qui y donnent lieu sont des membranes osmotiques.

Membranes précipitées. — En 1867, Moritz Traube, de Breslau, découvrit que certains précipités chimiques, tel par exemple que le ferrocyanure de cuivre, pouvaient former des membranes ayant des propriétés analogues à celles des membranes osmotiques, de la vessie de porc employée par l'abbé Nollet, M. Traube fit un grand nombre de recherches intéressantes avec ces membranes précipitées ; et ses fils ont réuni tous ses mémoires en un volume : *Gesammelte Abhandlungen von Moritz Traube*, Berlin, Mayer und Müller, 1899.

Membranes osmotiques. — On a désigné les membranes à travers lesquelles se produit l'osmose sous le nom de membranes semi-perméables, les définissant comme se laissant traverser par l'eau et arrêtant les substances dissoutes. Cette définition est inexacte, il n'existe pas de membranes perméables à l'eau et absolument imperméables

aux substances dissoutes, les membranes se laissent traverser par l'eau plus facilement que par les substances dissoutes, à l'égard desquelles elles sont très inégalement perméables, suivant leur nature, elles sont en général beaucoup plus perméables aux petites qu'aux grosses molécules, elles se laisseront traverser beaucoup plus vite par le chlorure de sodium que par le sucre de canne. L'expression de membranes semi-perméables devrait être abandonnée et remplacée par celle de membranes osmotiques.

En réalité, les membranes osmotiques se comportent à l'égard des liquides et des substances dissoutes exactement comme les colloïdes, elles opposent aux substances qui les traversent des résistances diverses, il n'y a pas de différence entre le passage à travers une membrane osmotique et la diffusion dans les colloïdes. Chez les êtres vivants, le protoplasma colloïdal agit et fonctionne à l'égard du mouvement des liquides et des substances dissoutes comme le font les membranes osmotiques.

La diffusion dans les colloïdes, dans les plasmas, et à travers les membranes, suit des lois analogues aux lois d'Ohm en électricité : la vitesse ou intensité de diffusion est proportionnelle aux différences de pression osmotique, varie en raison inverse de la résistance et, en plus, dépend de la nature de la substance diffusante.

C'est une chose remarquable que la notion de la résistance des plasmas et des membranes aux mouvements des liquides et des substances dissoutes, qui s'impose à l'esprit dès qu'on l'évoque, ait été méconnue au point qu'on ne la trouve pas dans la littérature.

Ces notions sur la diffusion s'appliquent aux ions comme aux molécules : M. Nernst a montré que, au contact entre deux solutions à diverses concentrations d'une substance électrolytique, il s'établit une différence de potentiel, tenant à ce que l'un des ions de la solution la plus concentrée passe dans la solution moins concentrée plus vite que

l'autre, ce qui veut dire que son déplacement rencontre une moindre résistance.

La résistance à la diffusion intervient nécessairement dans tous les phénomènes où la diffusion est en jeu, et, en raison des résistances différentes aux différentes substances dissoutes, molécules et ions, il s'effectue entre les solutions des échanges inégaux par suite desquels les solutions ne sont pas modifiées seulement dans leur concentration, mais aussi dans leur composition. On a remarqué d'ailleurs depuis longtemps que la diffusion provoquait la décomposition des substances décomposables ; elle doit être également susceptible d'occasionner des combinaisons nouvelles.

La séparation des ions par suite des résistances différentes que leur offre un même milieu suivant leur nature, est une cause déterminante de réactions chimiques, cette cause doit être souvent en jeu chez les êtres vivants pour déterminer les actions chimiques qui constituent le phénomène de la nutrition.

Relativement à l'isotonie et aux différences de pression osmotique, il importe de distinguer entre les solutions d'une même substance et les solutions de substances différentes, de sucre et de sel par exemple. Lorsqu'une solution de sel et une solution isotonique de sucre sont en contact, il n'y a pas entre elles de mouvement de l'eau, mais il se produit un mouvement des substances dissoutes : dans la solution de sel la pression osmotique du sucre est zéro, il existe donc une différence de pression osmotique par suite de laquelle le sucre diffuse dans la solution salée comme dans l'eau pure et réciproquement. La méconnaissance de ces conditions conduit en physiologie à proclamer contraires aux lois de l'osmose des phénomènes qui y sont conformes. C'est ainsi que l'on déclare contraire aux lois de l'osmose les phénomènes dans lesquels une substance soluble passe d'une solution à pression osmotique faible, comme le sang,

vers une solution à pression osmotique plus forte, comme l'urine, dont la pression osmotique, par suite de ce passage, s'élève encore davantage. On proclame que seule une action vitale peut ainsi agir contrairement aux lois physiques Or, considérons enfermée dans une cellule osmotique inextensible une solution de sucre par exemple, pour lequel les parois de la cellule sont imperméables ; supposons cette cellule plongée dans une solution de chlorure de sodium pour lequel les parois de la cellule sont perméables, la quantité d'eau ne peut augmenter dans la cellule inextensible, mais le chlorure de sodium qui traverse la paroi pénétrera dans la solution sucrée où sa pression osmotique est nulle, jusqu'à ce que la pression osmotique du chlorure de sodium dans la cellule soit la même que dans la solution extérieure, et la pression osmotique intra-cellulaire se trouve alors augmentée de cette valeur.

Plosmolyse. — On sait qu'une plante coupée se dessèche et se fane, mais si on la met dans l'eau, son protoplasma contracté se gonfle, remplit les cellules qui deviennent turgides et la plante se redresse. Ce phénomène est dû à ce que le protoplasma végétal tient en dissolution des substances, sucres, sels, etc., ayant une forte pression osmotique, l'eau traverse les parois cellulaires, distend les cellules et les rend turgescentes. M. H. de Vries a utilisé ce phénomène pour mesurer la tension osmotique. Si, sur des cellules turgides de tradescantia discolor, on verse des solutions de nitrate de sodium de plus en plus concentrées, à un moment donné on voit la masse protoplasmique se détacher des parois de la cellule et se contracter : c'est le phénomène que l'on désigne du nom de plasmolyse, il se produit lorsque la solution de nitrate de potassium enlève de l'eau au suc protoplasmique, ce qui a lieu dès que sa tension osmotique est plus élevée que celle du liquide protoplasmique. Si la tension osmotique de la solution de

nitrate de potassium est plus faible que celle des solutions protoplasmiques, l'eau pénètre dans la cellule et gonfle le protoplasma. Lorsqu'aucun changement ne se produit dans le volume du protoplasma, c'est que la solution qui baigne la cellule a la même tension osmotique que les sucs cellulaires. On cherche ainsi quelle est la solution de tension osmotique connue, isotonique au protoplasma, et l'on peut ensuite se servir des cellules pour déterminer les tensions osmotiques inconnues d'autres solutions, en les diluant dans une proportion connue jusqu'à les rendre isosmotique au protoplasma.

Emploi des globules rouges du sang pour déterminer l'isotonie. — En 1886, Hamburger a montré que les plus faibles concentrations des solutions de substances diverses qui permettent encore aux globules rouges de se déposer sans dissoudre l'hémoglobine, sont isotoniques entre elles, au contenu des globules rouges, et au sérum sanguin. On pourra donc, en diluant une solution concentrée, déterminer sa tension osmotique par la méthode d'Hamburger.

Méthode de l'hématocrite. — En 1891, Hedin proposa de déterminer l'influence des différentes solutions sur les globules sanguins à l'aide de l'hématocrite, pipette graduée permettant de mesurer, pour un volume donné de sang, le volume des globules séparés de la solution par centrifugation.

Action des solutions sur les cellules vivantes. — Nous venons de voir qu'une cellule vivante, végétale ou animale, reste invariable dans une solution isotonique qui n'agit pas chimiquement sur elle, elle se rétracte dans une solution hypertonique, elle absorbe de l'eau, se gonfle et devient turgescente dans une solution hypotonique ; si la solution est très hypotonique, la cellule se gonfle jusqu'à éclater. Les hématies, dans une solution hypertonique, se rétractent

et se déposent au fond du vase d'autant plus rapidement qu'ils se sont rétractés davantage ; dans une solution hypotonique, ils éclatent et l'hémoglobine se dissout dans le liquide, qui se colore c'est le phénomène de l'hématolyse. D'après les recherches de Hamburger (*Osmotischen Druck und Ionenlehre in den medicinischen Wissenschaften* ; Wiesbaden, Bergmann 1905), le sérum peut être notablement dilué avec de l'eau avant d'occasionner la sortie de l'hémoglobine. Ainsi l'expérience montre que les globules du sang de grenouille conservent encore leur hémoglobine dans une solution de NaCl à 0,22 %, alors que pour conserver les globules intacts, il faut une concentration de 0,64 p. %, isotonique au sérum de grenouille ; d'autre part, le sérum de grenouille peut être dilué avec 200 p. % d'eau avant que la sortie de l'hémoglobine se produise. La concentration de NaCl dans laquelle les hématies des mammifères commencent à perdre leur hémoglobine oscille autour de 0,60 p. %, et celle dans laquelle les globules restent invariables autour de 0,90 %. C'est donc une solution de chlorure de sodium à 0,90 p. 100 qui est isotonique aux hématies, au sérum et aux cellules des tissus.

Il ne faudrait pas croire cependant que dans une solution de chlorure de sodium à 0,90 %, isotonique au sérum, les hématies et les éléments anatomiques n'éprouvent aucune altération. Ils ne perdent ni ne gagnent d'eau, ils conservent leurs volumes et leurs poids spécifiques, mais ils subissent des modifications chimiques, ils échangent leurs électrolytes avec ceux de la solution. Hamburger dit : la forme des globules des mammifères s'altère dans tout autre liquide que le sérum, même dans la lymphe, le grand diamètre diminue, le petit augmente et les disques, concaves tendent vers la forme sphérique.

Toutes les cellules de l'organisme sont extrêmement sensibles aux influences des différences de pression osmotique. Les cellules épithéliales, nerveuses, etc. ne sont,

pas moins que les hématies, sensibles aux différences de pression osmotique. L'introduction dans les fosses nasales de solutions salées trop concentrées détermine des rhinites, détruit les terminaisons du nerf olfactif et occasionne des anosmies très pénibles. L'eau pure, également est caustique : il existe à Gastein, dans le Tyrol, une source appelée « Giftbrunnen », source empoisonnée ; l'eau de cette source est la plus pure que l'on connaisse ; c'est pourquoi elle gonfle et détruit les cellules épithéliales du tube digestif et produit les effets nocifs qui lui ont valu son nom. Notre eau d'alimentation n'est jamais pure ; elle contient en dissolution des sels puisés dans le sol, des gaz pris dans l'atmosphère ; elle a une pression osmotique notable qui lui enlève son osmonocivité. Toutes les fois que l'on pratique la dièrèse, pour ne pas nuire à la vitalité des surfaces vives, il faut tenir compte de la pression osmotique des liquides mis en contact avec elles. Cette précaution est plus importante encore lorsque des liquides étrangers sont mis en contact avec les cellules délicates des surfaces étendues des membranes séreuses. Les jardiniers ont reconnu cette influence de la pression osmotique ; ils pratiquent l'arrosage sur le sol, autour du pied de la plante ; l'eau versée sur le cœur de la plante, ayant une trop faible pression osmotique, fait éclater les cellules et périr la plante.

Les applications humides pour faire tomber les croûtes sèches comme celles de l'eczéma et de l'impétigo, réussissent d'autant mieux que le liquide employé a une pression osmotique plus faible ; les applications les plus efficaces, à cet effet sont celles de compresses de coton hydrophile imprégnées d'eau distillée bouillie, sous l'influence des quelles les cellules morbides rapidement se gonflent, éclatent et se dissolvent.

Lorsqu'on sale avant la cuisson, l'eau dans laquelle on fait bouillir des pommes de terre, des châtaignes, des hari-

cots, des lentilles, ces végétaux se déssèchent et se raccourcissent, leurs membranes deviennent adhérentes, leur consistance dure et lardacée, ils sont pénibles à digérer, difficilement attaqués par les sucs digestifs. Lorsqu'on fait cuire ces aliments dans de l'eau douce, que l'on sale après la cuisson, ils absorbent de l'eau, se gonflent, la peau éclate, les grains de fécule sont également gonflés et éclatés, la pulpe est friable, s'écrase, les sucs digestifs atteignent rapidement toutes les parties, la digestion est facile. La cuisson dans l'eau salée fait diminuer de poids les pommes de terre, les châtaignes, etc. ; le poids augmente par la cuisson dans l'eau douce.

Ainsi que l'a fait remarquer Carrara, on peut, par la cryoscopie du sang, reconnaître si un sujet retiré de l'eau s'y est noyé ou y a été jeté après sa mort. Par exemple chez un chien, avant l'immersion, le point de congélation du sang carotidien était — 0° 60 ; après que l'animal fut noyé le point de congélation dans le ventricule gauche était — 0° 29, celui du sang du ventricule droit — 0° 42 ; lorsque l'animal est tué avant d'être jeté à l'eau la pression osmotique du sang est à peine modifiée, même après 72 heures de séjour dans l'eau. Les mêmes effets se produisent dans l'eau de mer, mais en sens inverse, la pression osmotique s'élève dans le sang de ceux qui s'y noient.

Si, comme il est probable, c'est la pression osmotique intracellulaire des racines qui détermine l'aspiration de l'eau du sol et fait monter la sève dans les plantes, comme dans le tube d'un manomètre, il devient facile, d'après la pression osmotique du liquide intracellulaire des radicelles, de calculer la hauteur à laquelle peut être élevée la sève, c'est-à-dire peut croître la plante : Supposons que le plasma des radicelles ait une pression osmotique de 6 atmosphères, ce qui correspond à une concentration de sucre de 9 gr. 18 p. 100, pour avoir la hauteur à laquelle une pareille pression peut faire pousser la plante il suffit

de multiplier par 0,76 et par le poids spécifique du mercure : $6 \times 0{,}76 \times 13{,}596 = 61^{m}\,95$; la plante dont les radicelles auraient une pression osmotique de six atmosphères pourrait donc croître jusqu'à une hauteur de $61^{m}\,95$.

Le point de congélation de l'urine varie entre — 1,26 et — 2,35. Koryani de Budapest a étudié le rapport de ce Δ de l'urine, à l'abaissement du point de congélation d'une solution pure contenant la même proportion de chlorure de sodium : $\frac{\Delta}{\text{Na Cl}}$ s'élève lorsque la circulation se ralentit dans les tubulis.

D'après Hans Kœppe, l'acide chlorhydrique du suc gastrique provient des échanges osmotiques entre le contenu de l'estomac et le sang ; $Na^{\cdot}$ de NaCl de l'estomac s'échange avec un H' des sels monobasiques du sang : $NaHCO^3 + NaCl = HCl + Na^2\,CO^3$.

Influence de la contraction sur la pression osmotique intra-musculaire. — Un muscle, plongé dans une solution isotonique de chlorure de sodium, conserve un poids invariable ; si la solution de NaCl est hypertonique par rapport aux liquides du muscle, le muscle perd de son poids, en raison du mouvement de l'eau qui s'écoule rapidement vers la solution pour égaliser les concentrations et les pressions ; si la solution de NaCl est hypotonique par rapport aux liquides du muscle, le muscle augmente de poids par suite de la pénétration de l'eau entraînée vers les concentrations les plus fortes. On peut donc reconnaître quand la pression osmotique dans un muscle est plus forte ou plus faible que celle d'une solution donnée, par le fait que le muscle, plongé dans cette solution, augmente ou diminue de poids. On peut déterminer la pression osmotique intra-musculaire par celle de la solution de NaCl, dans laquelle le muscle conserve un poids invariable.

Nous prenons une grenouille ; après avoir sectionné le bulbe, nous détachons d'un coup de ciseau, au niveau de l'aîne, l'un des membres postérieurs ; ce membre est dépouillé, bien asséché à la surface avec du papier buvard, pesé et placé dans une solution de chlorure de sodium se congelant à — 0° 53, ayant par conséquent, à 15°, une pression osmotique de 6 atmosphères 655 ; l'autre membre est excité, par l'intermédiaire du sciatique, à l'aide d'un courant intermittent, passant une fois par seconde, pendant cinq minutes ; ce membre est à son tour dépouillé, pesé et placé dans la même solution que le premier. De huit en huit heures ces membres sont retirés, séchés à la surface avec du papier buvard et pesés. Dans une série de dix expériences, dont tous les résultats furent concordants, nous obtinmes, comme moyennes, des augmentations de poids, exprimées en fraction des poids initiaux :

	Témoins non excités	Membres excités 5'
Après 8 heures	— 0,000	+ 0,050
Après 16 heures	— 0,000	+ 0,080
Après 24 heures	— 0,006	+ 0,101

D'après ces résultats il est certain que les contractions musculaires provoquées par l'excitation électrique augmentent notablement la pression osmotique dans le muscle.

Pour apprécier l'élévation de la pression osmotique, nous répétons l'expérience précédente avec des solutions de plus en plus concentrées. Dans une solution congelant à — 0° 57 nous obtenons comme moyenne de cinq expériences les variations de poids suivantes :

	Témoins non excités	Membres excités 5'
Après 8 heures	0,000	+ 0,039
Après 16 heures	— 0,004	+ 0,072
Après 24 heures	— 0,006	+ 0,099

Les signes + signifient augmentation de poids, les signes — diminution de poids.

Enfin dans une solution congelant à — 0,72 et ayant à 15° Une pression osmotique de 9 atmosphères 176, les membres témoins non excités subirent les variations de poids moyennes suivantes :

Après 8 heures	Après 16 heures	Après 24 heures
— 0,040	— 0,050	— 0,050

Dans cette même solution congelant à — 0,72, certains muscles excités ne varièrent pas de poids, d'autres diminuèrent légèrement, et enfin quelques uns augmentèrent de poids, le maximum d'augmentation étant les 0,085 du poids initial. L'élévation de la pression osmotique intra-musculaire provoquée par les excitations électriques et les contractions avait, dans ce cas, dépassé 2 atmosphères 521 ; soit 2 kilogrammes 604 par centimètre carré de surface.

Pour rechercher si la variation de la pression osmotique dépendait de la durée des excitations électriques auquel est soumis le muscle, j'ai plongé dans la solution congelant à — 0° 53 des muscles témoins, puis des muscles excités pendant deux minutes, quatre minutes et six minutes, l'expérience donne les résultats suivants :

Augmentation en fraction du poids initial, après 24 heures de séjour dans la solution, des :

	Muscles excités une fois par seconde pendant :		
Muscles témoins	2 minutes	4 minutes	6 minutes
0,000	+ 0,0,26	+ 0,084.....	+ 0,094
+ 0,001	+ 0,0,34	+ 0,065.....	+ 0,093
+ 0,005	+ 0,0,45	+ 0,079.....	+ 0,097
0,000	+ 0,0,37	+ 0,070.....	+ 0,095
0,000	+ 0,032	+ 0,072.....	+ 0,096
	Moyennes		
+ 0,00075	+ 0,0348	+ 0,074	+ 0,095

Il ressort avec évidence de ces résultats que la pression osmotique intra-musculaire s'élève d'autant plus que l'excitation électrique est plus prolongée.

Pour rechercher l'influence du travail accompli par le muscle sur l'élévation intra-musculaire de la pression osmotique, j'ai soumis simultanément aux mêmes excitations les deux membres d'un même animal, mais une patte restait libre alors que l'autre était tendue par un poids de 100 grammes. Dans une moyenne de cinq expériences, nous avons obtenu, après cinq minutes d'excitation, et vingt-quatre heures de séjour dans la solution congelant à — 0° 53, une augmentation des 0,085 du poids initial pour les membres libres, et des 0,106 du poids initial pour les membres tendus par un poids de 100 gr. La pression osmotique augmente donc avec le travail accompli par le muscle.

En résumé, il résulte de ces expériences :

1° Que la contraction musculaire provoquée par l'excitation électrique a pour conséquence l'élévation de la pression osmotique dans le muscle ;

2° Cette élévation de la pression osmotique intra-musculaire peut dépasser 2 atmosphères 521, ou 2 kilogrammes 604 par centimètre carré de surface ;

3° Lorsqu'un muscle se contracte une fois par seconde, l'élévation de la pression osmotique s'accroît avec le nombre des contractions ;

4° La pression osmotique intra-musculaire s'élève avec le travail accompli par le muscle ;

5° Les changements si considérables de la pression osmotique dans un muscle qui se contracte doit exercer une influence prépondérante sur la production de la fatigue.

Pôles et champs de diffusion. — Le phénomène de la diffusion peut se représenter comme Faraday a représenté les phénomènes magnétiques ou électriques, par des

centres de force ou pôles, et par des champs de force. Dans un liquide quelconque, tout point de concentration plus forte que celle du milieu, peut être considéré comme un centre de forces attractives et répulsives, les molécules d'eau se dirigent vers ce centre, les molécules de la substance dissoute s'en éloignent. Tout point de concentration plus faible que celle du milieu est également un centre de forces attractives et répulsives, les molécules dissoutes se dirigent vers ce centre, les molécules d'eau s'en éloignent. Nous avons donc dans les li-

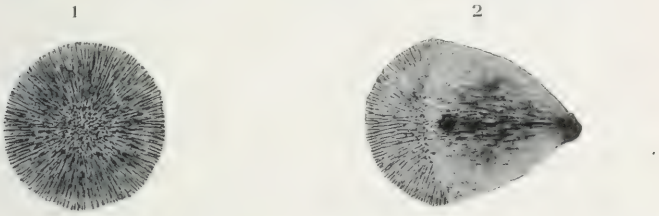


Fig. 1. — Champs de force de diffusion.

1. Monopolaire. Une goutte de sang dans une solution saline plus concentrée.
2. Bipolaire entre deux pôles de noms contraires formés par une goutte de sang et un grain de sel.

quides, par rapport à la diffusion, deux genres différents de centres de force, les centres de plus grande concentration que le milieu ou hypertonique, les centres ayant une concentration moindre que celle du milieu ou centres hypotoniques. Par analogie avec ce qui se présente dans l'étude du magnétisme et de l'électricité ; on peut désigner, les centres de forces hypertoniques comme des pôles positifs de diffusion, les centres hypotoniques comme des pôles négatifs de diffusion.

En faisant diffuser dans de l'eau salée répandue sur une plaque de verre horizontale une goutte de sang ou d'encre de chine convenablement diluée, les particules colorées s'orientent suivant les lignes de force, on a la représentation d'un champ monopolaire de diffusion ;

si deux gouttes semblables diffusent l'une à côté de l'autre, leurs lignes de force se repoussent ; si l'on fait diffuser dans une solution une goutte plus concentrée et une goutte moins concentrée que cette solution placée dans le voisinage l'une de l'autre, les lignes de force vont du centre d'une goutte au centre de l'autre, elles partent en divergeant du centre d'une goutte, puis se recourbent pour aller converger vers le centre de l'autre. On a ainsi des représentations des champs de diffusion analogues aux champs magnétiques entre pôles de mêmes noms et pôles de noms contraires.

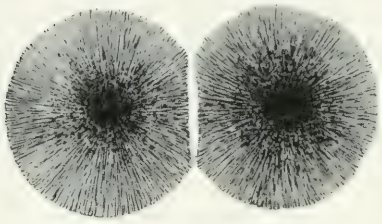


Fig. 2. — Champ de force de diffusion entre deux pôles de même nom, deux gouttes de sang dans une solution plus concentrée.

Cette manière de considérer la diffusion offre un grand intérêt en biologie, elle jette de la lumière sur un certain nombre de phénomènes jusque-là mystérieux, comme le phénomène de la karyokinèse, et elle facilite beaucoup l'étude du rôle de la diffusion dans un grand nombre de phénomènes biologiques. Considérons par exemple un centre d'anabolisme, dans lequel les molécules se construisent, des molécules plus simples se réunissent pour former des molécules plus complexes, par suite de ces groupements le nombre des molécules, c'est-à-dire la concentration dans un espace donné diminue, il se produit un centre hypotonique ; tout centre d'anabolisme est donc un pôle négatif de diffusion. Au contraire, en tout point où les molécules se fragmentent en molécules plus simples, leur nombre augmente, la concentration s'élève ; tout centre de catabolisme est un pôle positif de diffusion. Ces remarques concernant le catabolisme s'appliquent également à la polymérisation.

Les champs de diffusion semblent avoir toutes les propriétés des champs magnétiques ou électriques : c'est ainsi que l'on peut observer l'attraction entre les pôles de noms contraires, la répulsion entre les pôles de même nom ; par exemple dans l'expérience suivante : on prépare une solution de gélatine peu concentrée dans une solution saline, la gélatine étant solidifiée, on dispose à sa surface, dans le voisinage l'une de l'autre, une goutte d'eau et une goutte d'une solution du même sel que la gélatine mais plus concentrée ; on a deux pôles de noms contraires, la diffusion se fait à travers la masse gélatineuse ; on voit les gouttes s'allonger, s'avancer l'une vers l'autre, se rejoindre et se confondre ; lorsque deux gouttes voisines sont toutes deux plus concentrées, ou toutes deux moins concentrées que la solution dans laquelle elles diffusent, elles ne montrent que des phénomènes de répulsion.

Ainsi la diffusion ne détermine pas seulement dans les liquides, comme on l'enseigne, les mouvements de l'eau et des substances dissoutes, l'expérience montre qu'elle détermine aussi le mouvement des particules en suspension, des globules rouges par exemple ; les particules en suspension, au moins dans mes expériences, sont entraînées par l'eau, c'est-à-dire des centres ou des régions hypotoniques vers les centres ou régions hypertoniques.

Ces notions suggèrent en biologie, en pathologie, en thérapeutique, une foule d'interprétations qui appellent la vérification expérimentale. L'inflammation par exemple caractérisée par la tuméfaction ou turgescence des tissus avec rougeur, semble consister dans une désassimilation, un catabolisme intense qui augmente la pression osmotique dans la région enflammée, y appelle l'eau qui produit la turgescence et entraîne avec elle les globules qui produisent la rougeur.

Il y a lieu de chercher si ce n'est pas la production de pôles positifs de diffusion qui attirent et agglomèrent

les particules en suspension dans le phénomène de l'agglutination.

Cet entraînement des particules en suspension, ces attractions et ces répulsions polaires, il faut nécessairement en tenir compte dans les mouvements désignés sous le nom de tactismes. Toute expérience sur ce sujet qui ne tient pas compte des influences sur la pression osmotique est sans valeur, il est manifeste qu'un très grand nombre des causes de tactisme modifient la pression osmotique des liquides aux points où elles agissent et il est possible qu'elles agissent seulement par cette modification. L'osmotactisme et l'osmotropisme, non encore étudiés, semblent devoir avoir une place prépondérante parmi les tactismes et les tropismes.

En résumé : considérée d'après la notion des centres de forces ou pôles de diffusion, des champs de diffusion, des lignes de force montrant les directions suivant lesquelles se déplacent les substances dissoutes, l'eau et les particules et globules en suspension, la pression osmotique domine toutes les actions cinétiques et dynamiques de l'organisme qui ne dépendent pas d'actions purement mécaniques comme les mouvements d'ensemble du sang dans la circulation.

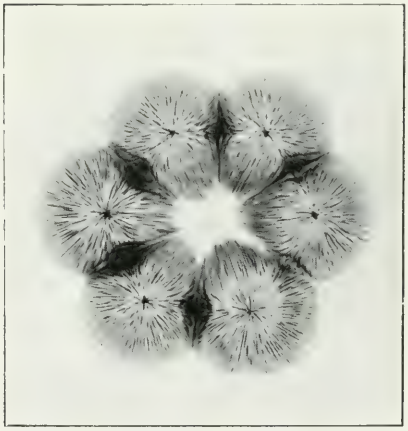


Fig. 3. — Figure liquide de diffusion. Pôles négatifs coloriés par de l'encre de Chine, au centre pôle positif incolore dans une solution de nitrate de potassium.

Effets morphogéniques de la diffusion. — Les expériences sur les champs de diffusion montrent comment

les liquides, en dehors des actions mécaniques, lorsqu'ils obéissent aux seules différences de pression osmotique, se mélangent en suivant des lois d'une régularité mathématique, aussi, lorsqu'on fait diffuser les uns dans les autres des liquides soustraits à toutes autres influences et en particulier soustraits à l'action de la pesanteur, on obtient des figures d'une régularité géométrique. On peut obtenir des figures et des formes infiniment variées simplement en faisant diffuser dans de l'eau ou dans de l'eau salée répandue sur une plaque de verre bien horizontale des gouttes colorées par de l'encre de Chine, la variété résulte des différences de concentration et de position des gouttes.

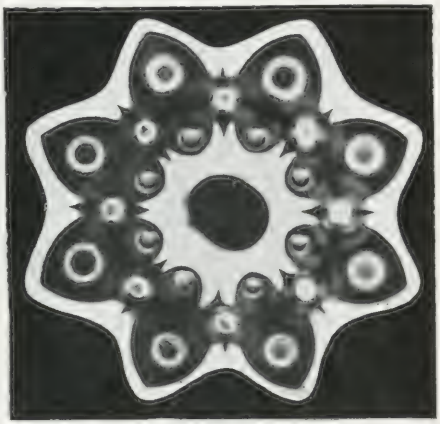


Fig. 4.— Forme produite par la diffusion dans la gélatine de gouttes de solutions de nitrate d'argent et de bromure d'ammonium.

Si sur la plaque de verre, on remplace le liquide par une solution de gélatine à cinq ou dix pour cent contenant en solution des sels divers, en semant sur cette gélatine des gouttes de solutions diverses réagissant et donnant des colorations avec les substances mélangées à la gélatine, on obtient des formes d'une parfaite régularité, présentant les plus belles couleurs et la plus grande richesse de nuance. Les gouttes doivent avoir des positions symétriques. Il y a là une source inépuisable de motifs d'ornementation infiniment variés. Pour recouvrir une plaque de verre 8½/10, il faut environ cinq centimètres de la solution gélatineuse ; mélangeons à cette gélatine une goutte

d'une solution saturée de salicylate de sodium, répandons le liquide uniformément sur la plaque, lorsque la gélatine est prise plaçons sur la surface, aux six sommets d'un hexagone, une goutte de sulfate ferrique, et laissons diffuser, le résultat sera une belle rosace groseille, on laisse sécher la préparation qui peut se monter comme un cliché, et donne en projection les plus beaux effets. Si l'on a mis dans la gélatine du ferro-cyanure de potassium à la place du salicylate, la rosace sera bleue, en mettant une goutte formée d'un mélange des deux sels on a les nuances intermédiaires. On peut d'ailleurs varier à l'infini la nature, la concentration des solutions, le nombre et la position des gouttes, le résultat a toujours un grand degré d'imprévu qui ajoute au charme de l'expérience. Ces expériences ne sont pas un simple jouet scientifique, elles démontrent la puissance si complètement insoupçonnée jusqu'ici de la diffusion pour produire les formes et les couleurs et quand on songe qu'après tout, les phénomènes jusqu'à présent si mystérieux de la vie se présentent à nous comme des conséquences de la diffusion les uns dans les autres de liquides différents, on ne peut s'abstenir de penser que pour comprendre les phénomènes vitaux il est utile de bien connaître d'abord

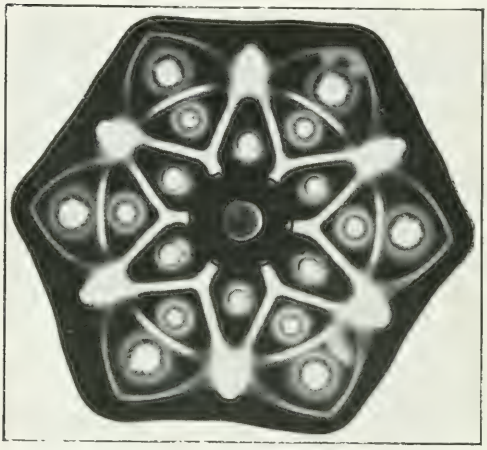


Fig. 5. — Forme produite par la diffusion dans la gélatine de gouttes de nitrate d'argent et de carbonate de sodium.

tous les effets de la diffusion des différents liquides les uns dans les autres.

Toutes les fois que dans un liquide on produit simultanément les unes près des autres, des sphères grandissantes et déformables, en se rencontrant elles forment des masses polyédriques, les êtres vivants sont ainsi formés par la réunion de masses polyédriques micros-

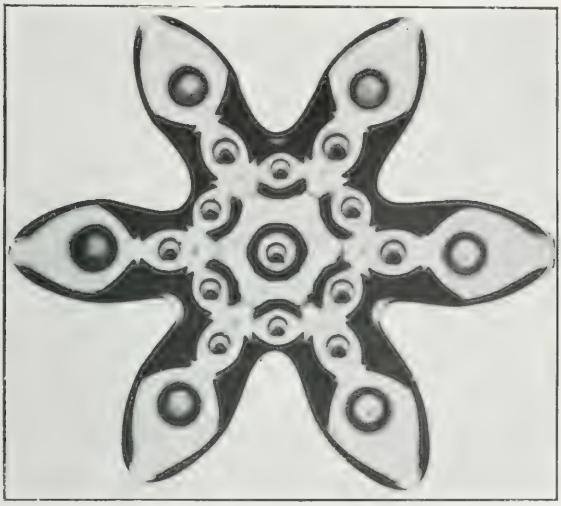


Fig. 6. — Forme produite par la diffusion dans la gélatine de gouttes de solution de nitrate d'argent et de citrate de potassium.

copiques que l'on appelle des cellules. Les coupes de ces masses polyédriques se présentent comme des réunions de polygones. M. Besnard a produit des figures semblables avec des bulles de vapeur ou par les mouvements de convection résultant de différences de température. La diffusion reproduit ces structures dans des conditions qui se rapprochent beaucoup plus de celles dans lesquelles se développent les tissus des êtres vivants.

Sur une plaque de verre on répand bien uniformément

une solution de gélatine pure à cinq ou à dix pour cent, sur cette gélatine on dépose à l'aide d'un compte-goutte, à des distances régulières de 5 à 6 millimètres environ, des gouttes d'une solution à cinq ou à dix pour cent de ferrocyanure de potassium, on laisse diffuser et sécher, et l'on trouve une préparation ressemblant complètement à la coupe d'un tissu cellulaire végétal. Par leurs rencontres, les gouttes ont formé des polygones présentant l'aspect de coupes de cellules, présentant comme celles-ci une membrane d'enveloppe, un cytoplosma parfois séparé de la membrane d'enveloppe et un noyau. Ces cellules, unies les unes aux autres, forment un véritable tissu organisé à structure cellulaire.

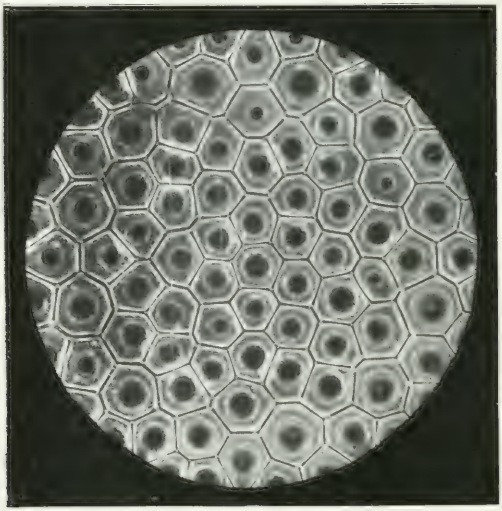


Fig. 7.— Tissu de cellules artificielles formé par la diffusion dans une solution de gélatine à 10 % de gouttes d'une solution de ferrocyanure de potassium à 10 %.

Tant que la gélatine n'est pas sèche, les parties constituant les cellules ne se voient pas directement ; on n'a qu'une masse gélatineuse analogue aux tissus animaux ;

cependant cette masse s'organise ou est organisée, ainsi qu'on peut le reconnaître, par la réfraction de la lumière en projetant son image par transparence sur un écran.

Chacune de ces cellules artificielles, pendant sa formation, et tant qu'il existe des différences de concentration dans la gélatine, est le siège d'un mouvement moléculaire très actif, consistant comme dans les cellules vivantes, en uns double courant, la substance dissoute allant du centre à la périphérie, l'eau du dehors vers le centre. Cette activité moléculaire, cette vie de la cellule artificielle, peut être entretenue en maintenant autour d'elle un milieu convenable, en la nourrissant, c'est-à-dire en réparant au centre les pertes de concentration.

Si l'on dessèche prématurément les cellules, les mouvements dont elles sont le siège s'arrêtent, pour reprendre dès qu'on rend à la préparation l'humidité nécessaire. On a ainsi l'image de la vie latente des graines et des rotifères.

Les cellules artificielles ont une existence évolutive. La première partie correspond à l'organisation ; la goutte représente le noyau, la gélatine le blastème ; la cellule s'organise, forme son cytoplasma et sa membrane d'enveloppe.

La seconde partie est la période d'état dans laquelle le métabolisme tend à égaliser les concentrations entre les différentes parties de la cellule et le milieu dans lequel elle se trouve. La troisième période ou de déclin correspond à la diminution du double courant moléculaire, par diminution des différences de concentration. Lorsque l'égalité de concentration est établie, la cellule a terminé son existence active, elle est morte, elle ne conserve que sa forme.

Les cellules artificielles sont sensibles à un grand nombre d'influences. Comme les cellules vivantes, elles sont influencées dans leur organisation et leur développement par l'humidité, la sécheresse, l'acidité, l'alcalinité, ou l'addition de substances diverses au blastème gélatineux, ou à la

goutte qui forme le noyau primordial. On obtient ainsi de nombreuses variétés, parmi lesquelles on trouve des noyaux compacts ou clairs, avec ou sans nucléoles, des cellules sans noyau, à cytoplasma homogène ; le cytoplasma séparé des parois et contracté autour du noyau, ou occupant au contraire toute la cavité cellulaire ; on obtient des cellules sans membrane d'enveloppe, ou des parois épaisses accolées ou séparées par des espaces intercellulaires, etc.

La forme des cellules artificielles dépend du nombre et des positions relatives des gouttes, des concentrations moléculaires ou tension osmotique des solutions ; le nombre des centres de diffusion détermine le nombre des faces, du polyèdre cellulaire, la grandeur des angles dièdres, d'où partent trois, rarement quatre cloisons, dépend de la position de ces centres ; les concentrations déterminent la forme des surfaces qui sont planes entre des solutions de tensions isosmotiques, courbes entre des solutions de tensions osmotiques différentes, la convexité étant du côté de la solution hypertonique.

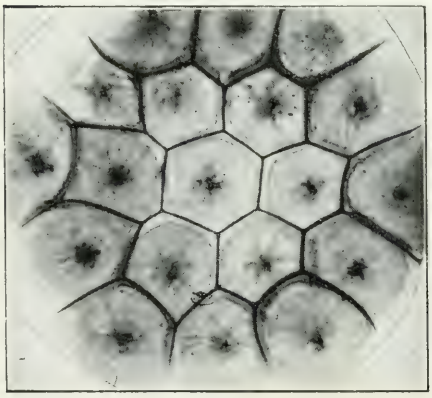


Fig. 8. — Cellules artificielles liquides formées par des gouttes colorées d'une solution de chlorure de sodium dans la même solution moins concentrée.

Il est à remarquer que ces cellules artificielles se développent suivant la théorie cellulaire de Schwam pour les cellules vivantes.

La production des cellules artificielles dans la gélatine exige un temps d'autant plus long que les solutions gélatineuses sont plus concentrées, de 2 à 24 heures. Si l'on place une couche d'eau sur une plaque de verre horizontale et

si, à l'aide d'un compte-goutte, on sème dans cette eau, en position convenable, des gouttes d'eau salée colorée par de l'encre de Chine, on obtient des cellules artificielles complètement liquides ayant d'ailleurs les mêmes caractères que les cellules produites dans une solution gélatineuse.

En étendant sur une plaque de verre horizontale une couche d'eau salée, y semant des gouttes d'encre de Chine en positions relatives convenables pour donner par diffusion des cellules artificielles, aux limites de la préparation, il se forme des prolongements analogues aux prolongements ciliaires des cellules vivantes.

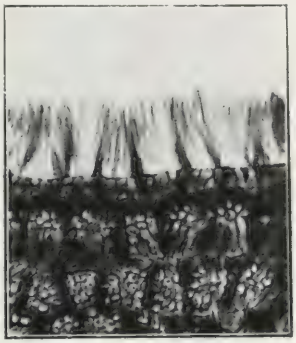


Fig. 9. — Cellules liquides à prolongements ciliaires formées par des gouttes d'eau salée colorée dans de l'eau salée moins concentrée, le contenu des cellules a subi la segmentation.

Ces tissus de cellules artificielles montre comment, sous la seule action des forces physiques, de la pression osmotique et de la diffusion, la matière s'organise en formes et structures analogues à ce que l'on trouve chez les êtres vivants ; et les organes ainsi produits présentent aussi des fonctions analogues à celles présentées par les êtres vivants, double courant du dedans au dehors, du dehors au dedans, existence évolutive, suspension, vie latente, par la dessiccation ou la congélation.

CHAPITRE VI

La Périodicité

Les précipités périodiques. — Un phénomène est périodique lorsque, variant avec le temps, il se reproduit, identique à lui-même, à des intervalles égaux. Nous sommes enveloppés de périodicité ; l'été et l'hiver, le jour et la nuit, le sommeil et la veille, le rythme et la rime, le flux et le reflux, notre respiration, les battements de notre cœur, sont des phénomènes périodiques. C'est par les mouvements périodiques du berceau que sont apaisés nos premiers chagrins.

L'audition est déterminée par les mouvements périodiques de l'air qui nous apportent l'harmonie et la mélodie. La vision est déterminée par les mouvements périodiques de l'éther qui nous font percevoir la beauté. C'est par les ondes de l'éther que se transmettent les télégrammes à travers l'espace. C'est par des phénomènes périodiques que l'énergie rayonne dans l'air et dans l'éther.

M. le Professeur Quinke, de Heidelberg, attribue à Runge, en 1885, la première mention relative à la formation périodique de précipités chimiques. Depuis, ces précitpités ont été signalés et étudiés par un certain nombre d'auteurs, en particulier par M. Raphaël Liesegang, de Dusseldorf, qui a résumé les faits connus en Allemagne dans un volume paru en 1907 : *Ueber die schichtungen bei Diffusion.*

En 1901, j'ai présenté au Congrès de l'AFAS, à Ajaccio, des anneaux concentriques alternativement transpa-

rents et opaques, obtenus en faisant diffuser une goutte d'une solution de ferrocyanure de potassium dans de la gélatine contenant des traces de sulfate ferrique. En août 1907, j'ai développé dans la conférence générale du Congrès de l'AFAS, à Reims, les résultats de recherches expérimentales sur ce sujet.

Les précipités périodiques s'obtiennent avec un très grand nombre de substances diverses. A une solution de gélatine à dix pour cent, ajoutons une goutte d'une solution saturée d'arséniate de sodium par cinq centimètres cubes, étendons sur une plaque de verre bien propre une couche uniforme de la gélatine ainsi préparée, en laissant diffuser des gouttes d'une solution de nitrate d'argent déposées sur cette gélatine solidifiée, mais non séchée, on obtiendra de magnifiques précipités périodiques avec lesquels on pourra répéter facilement les expériences décrites dans ce chapitre.

Ondes circulaires d'arséniate d'argent. — Les lignes de précipités périodiques ont toujours une direction perpendiculaire aux lignes de diffusion ; elles sont d'autant plus rapprochées que la chute de concentration est plus rapide ; elles représentent les lignes équipotentielles des champs de diffusion tracées par les forces physiques en jeu dans le phénomène. Ces lignes équipotentielles de la diffusion donnent la représentation la plus concrète de la propagation d'ondes périodiques dans l'espace : elles sont une image visible de la propagation des ondes lumineuses et sonores.

On observe parfois, dans la diffusion, comme dans l'éther et dans l'air, la propagation simultanée d'ondes de longueur très différentes, et ces ondes de diffusion donnent la meilleure représentation de la propagation simultanée, dans un même milieu, d'ondes de longueurs diverses.

Comme les ondes lumineuses et sonores, les ondes de diffusion se réfractent en pénétrant d'un milieu dans un autre

où elles ont une vitesse différente. Lorsque les ondes pénètrent d'un milieu dans un autre où elles ont une vitesse moindre, d'une solution de gélatine à 5 p. % dans une solution à 10, 15 ou 20 p. %, le front de l'onde est d'autant plus retardé que son parcours est plus long dans le milieu à vitesse moindre ; la courbure de l'onde diminue, l'onde réfractée correspond à une sphère de plus grand diamètre que sa sphère d'origine. Le contraire a lieu lors de la pénétration dans un milieu où la vitesse de propagation est plus grande que dans le précédent, le front de l'onde avance, sa courbure diminue.

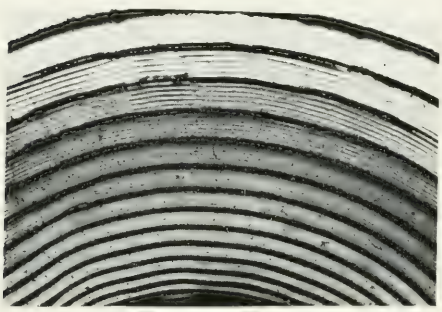


Fig. 10. — Lignes de précipités produites par diffusion et représentant la propagation simultanée d'ondes de différente longueur.

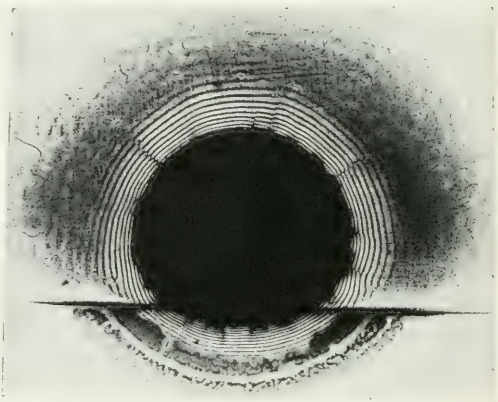


Fig. 11. — Réfraction subie par les ondes de diffusion en passant d'une solution gélatineuse moins concentrée dans une plus concentrée à travers une surface plane.
Les ondes réfractées sont plus courtes et de plus grand rayon que les ondes incidentes.

On peut ainsi très bien voir l'influence des différents dioptres sur les ondes de diffusion. Lorsque les ondes de diffusion émanent du foyer principal d'un dioptre convergent, à surface convexe et formée par une

solution gélatineuse plus concentrée que celle du milieu d'où émanent les ondes, ces ondes, sphériques à l'origine, sont changées par leur passage à travers le dioptre en ondes planes, perpendiculaires à l'axe principal.

Si l'on fait traverser une lentille de gélatine par des ondes de diffusion parallèles de différentes longueurs, elles perdent leur concentricité. Une lentille convergente, qui transforme les grandes ondes incidentes sphériques en ondes planes, transforme les ondes plus courtes en ondes concaves de courbure inverse de celle des ondes d'origine : cela constitue l'aberration de réfrangibilité.

Fig. 12. — Transformation par un dioptre convergent des ondes de diffusion sphériques en ondes planes.

On peut également suivre les ondes de diffusion à travers des prismes de gélatine et à leur sortie, si le prisme est fait de gélatine plus concentrée, s'il est plus réfringent que la solution gélatineuse dans laquelle il est plongé, on voit dans le prisme le front de l'onde beaucoup plus retardé à la base où le parcours est plus long qu'au sommet ; il en résulte une inclinaison du front de l'onde vers la base ; cette inclinaison est encore accentuée à la sortie par le fait que le haut de l'onde atteint la région où la vitesse est plus grande, avant la partie qui traverse la base et prend par suite une certaine avance sur cette dernière.

En examinant dans l'intérieur ou à la sortie d'un prisme de gélatine des ondes de diffusion de différentes longueurs, on constate qu'elles se coupent. Avec un prisme plus réfrin-

gent que le milieu où il est plongé, le front des ondes les plus courtes est plus incliné vers la base que le front des ondes plus longues ; c'est la dispersion ; et pour la diffusion comme pour la lumière, les ondes les plus courtes sont les plus réfractées.

La réfraction et la dispersion sont des conséquences des inégales résistances des milieux aux mouvements qui s'y propagent.

La lumière ayant traversé un orifice très étroit, au lieu de continuer sa marche en direction rectiligne, s'étale en éventail, en un cône de lumière divergente, comme si l'orifice était lui-même un point lumineux : c'est la diffraction que l'on considère comme incompatible avec la théorie de l'émission. Si l'on fait passer des ondes de diffusion à travers un orifice très étroit, elles se comportent exactement comme les ondes lumineuses : au lieu de donner un faisceau limité par les droites passant par le centre d'émission et les bords de l'orifice, celui-ci devient le point de départ d'ondes nouvelles, concentriques, ayant leur centre à l'orifice même. En résumé, les ondes de diffusion subissent, par leur passage à travers un orifice étroit, la même diffraction que les ondes lumineuses.

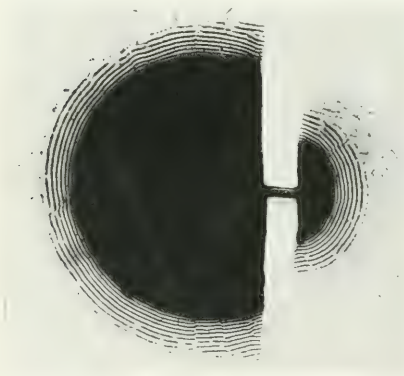


Fig. 13. — Diffraction des ondes de diffusion par un orifice étroit qui devient un centre d'émission d'ondes nouvelles, au lieu de donner un faisceau limité par les bords de l'orifice et le centre d'émission.

Si l'on fait émettre des ondes de diffusion par des centres voisins, en semant des gouttes en ligne droite, il existe en certains points de l'espace, entre les ondes émanant de deux centres voisins, des

différences de marche qui les font interférer. Rien ne démontre mieux que la photographie des ondes de diffusion en quoi consiste le phénomène des interférences et des différences de phase.

Il est à remarquer que le phénomène périodique qui se propage dans l'espace en y produisant alternativement des précipités opaques séparés par des espaces transparents, ne semble pas pouvoir être considéré comme un mouvement vibratoire : ce phénomène établirait donc que des phénomènes périodiques peuvent se propager dans l'espace sans être des mouvements vibratoires. Lorsqu'on examine les expériences sur lesquelles sont édifiées les théories de la lumière, on reconnaît qu'elles établissent qu'il s'agit d'un phénomène périodique, mais aucune n'impose l'opinion qu'il s'agit d'un mouvement vibratoire : au contraire, l'hypothèse que la lumière se transmet par un mouvement vibratoire se heurte aux plus grandes difficultés. Si quelques expériences récentes tendent à établir que la lumière est produite par des mouvements vibratoires, cela n'entraînerait nullement qu'elle doive se propager sous cette forme. De la démonstration que la lumière se transmet par un phénomène périodique on a conclu que c'est par un mouvement vibratoire, parce qu'on ne connaissait que les mouvements vibratoires se transmettant ainsi dans l'espace. Les précipités produits par diffusion nous montrent la transmission dans l'espace, en ondes sphériques suivant les mêmes lois que la lumière, d'un phénomène périodique qui n'est pas un mouvement vibratoire.

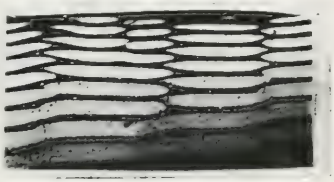


Fig. 14. — Interférences des ondes de diffusion.

On sait que Newton considérait la lumière comme produite par des particules émanant d'un centre comme des

projectiles et se propageant rectilignement dans toutes les directions. C'est la théorie de l'émission, que les interférences et la diffraction ont fait abandonner au profit de la théorie des ondulations de Huygens. On considérait que les interférences et la diffraction ne pouvaient s'expliquer avec la théorie de l'émission, tandis que la théorie des ondulations en donnait des explications faciles. L'esprit ne pouvait concevoir comment l'émission et les ondulations auraient pu se trouver réunies dans un même phénomène, cela se présentait comme une impossibilité absolue. Tous les savants, tous les penseurs qui ont médité sur ces questions ont toujours présenté la théorie de l'émission et celle des ondulations comme incompatibles, comme absolument exclusives l'une de l'autre ; cependant, nous voilà en présence d'un phénomène dans lequel l'émission et les ondulations existent simultanément. Les molécules émanées de nos gouttes diffusent en lignes droites et radiales, comme l'émission de Newton, et produisent des ondes périodiques se diffractant et interférant comme les ondes d'Huygens.

Tout en adoptant comme la réalité la théorie des ondulations, on a continué à développer et à enseigner l'optique au moyen de rayons lumineux qui sont les trajectoires des corpuscules de la théorie de l'émission ; la réflexion, la réfraction, la dispersion, etc., sont ainsi enseignées par la description de rayons lumineux ; c'est une grave inconséquence qui exerce une fâcheuse influence sur l'esprit de la grande majorité des élèves.

Rien ne facilite l'enseignement de l'optique conformément à la conception des ondulations comme les préparations de diffusion : projetées sur l'écran, elles montrent en quoi consiste la propagation simultanée d'ondes de longueurs différentes, elles font voir, par la modification des ondes, la réfraction, la dispersion, la diffraction, les interférences ; elles font voir d'un coup d'œil la modification des longueurs d'ondes par les différents milieux, les ondes

devenant d'autant plus courtes que leur vitesse de propagation est moindre, que les milieux sont plus réfringents. L'emploi, en projection, de ces préparations d'ondes de diffusion facilite considérablement l'enseignement de l'optique, et leur généralisation dans ce but paraît un progrès désirable et important.

Les ondes de diffusion ont des longueurs très variables, depuis plusieurs millimètres jusqu'à moins de deux microns: on en obtient même de beaucoup plus courtes, incomptables, et qui, aux plus forts grossissements microscopiques, apparaissent comme une sorte de moiré.

Les ondes très fines, de l'ordre du micron, formées de traits opaques séparés par des lignes claires, constituent ce qu'en physique on appelle des réseaux. Tout professeur de physique peut ainsi facilement et sans dépense se fabriquer lui-même des réseaux rectilignes, circulaires, ou ayant une forme quelconque, et produisant alors des effets colorés analogues à ceux des cristaux. Nous avons projeté les spectres de ces réseaux à la conférence du Congrès de Reims, en 1907. Nous avons une nombreuse collection de ces réseaux, les uns très fins, ne donnant qu'un spectre extrêmement étalé, d'autres moins fins donnant un grand nombre de petits spectres.

Cette étude des précipités périodiques paraît avoir un grand intérêt biologique. Un très grand nombre de tissus vivants ont la structure en réseaux, la structure des précipités périodiques, formés de lignes alternativement transparentes et opaques de l'ordre du micron ; c'est le cas de la fibre musculaire dite striée. C'est à cette structure que sont attribuables les plus belles couleurs des tissus vivants, les irisations des aponévroses et des tendons, les feux des élitres des scarabées, les couleurs des plumes du paon, les belles couleurs de la nacre des mollusques et des perles. On n'avait jusqu'ici aucune idée des moyens physiques par lesquels ces structures pouvaient se produire

chez les êtres vivants ; les expériences décrites montrent comment des solutions salines, ainsi qu'il s'en trouve chez tous les êtres vivants, par diffusion dans un milieu colloïdal, c'est-à-dire par un phénomène qui s'observe chez tous les êtres vivants, produisent ces structures en réseau avec une très grande variété.

On additionne une solution de gélatine à 10 p. % d'une goutte de solution concentrée de nitrate de calcium par cinq centimètres cubes, après que cette gélatine étendue sur des plaques de verre est prise, on y fait diffuser un mélange d'une solution de carbonate et de phosphate bibasique de potassium ou de sodium ; une bonne proportion est 2 de carbonate pour 1 de phosphate. Le phosphate tribasique donne de beaux résultats sans addition de carbonate. Si la solution est déposée sur la gélatine sous forme de goutte, on obtient des précipités périodiques circulaires ; si la solution, au moyen de deux lames de verre parallèles, est déposée sur la gélatine en ligne droite, on obtient des précipités périodiques rectilignes ; ces précipités périodiques sont au nombre de cinq cents à mille par millimètre, ils constituent des réseaux qui donnent de beaux spectres.

Ces réseaux de phosphate et carbonate de calcium dans une substance organique colloïdale, c'est la nacre des mollusques et des perles, ils en ont la structure et la composition chimique, ils en ont les propriétés physiques, les couleurs irisées, les éclats et les feux. En résumé, dans cette expérience, on réalise la synthèse de la nacre, qui n'est pas seulement une synthèse de composition chimique, mais aussi et surtout une synthèse de structure et d'organisation.

Nous avons réalisé ces précipités périodiques avec un très grand nombre de substances, et nous leur avons fait reproduire une très grande variété de formes et de structures, en particulier des formes articulées présentant une curieuse analogie avec celles des animaux articulés.

Les phénomènes par lesquels s'entretient la vie se présentent avec un caractère périodique, les battements du cœur, les mouvements de la respiration, le sommeil et la veille ont une périodicité régulière. Il est évident que l'étude de phénomènes périodiques purement physico-chimiques devrait nous guider et nous éclairer pour découvrir les causes physico-chimiques de la périodicité et du rythme chez les êtres vivants. Nous connaissons fort peu de phénomènes physico-chimiques périodiques. Je dois à la cour-

Fig. 15. — Forme articulée produite par la précipitation périodique.

toisie de M. le Professeur Bredig, de Heidelberg, la connaissance d'un très curieux phénomène : la catalyse périodique de l'eau oxygénée par le mercure ; ce phénomène, découvert par M. Bredig, a été étudié dans son laboratoire par MM. J. Weinmayr, E. Wilke, Ikeda, Antropoff.

« On met dans un tube à réactif parfaitement propre, quelques centimètres de mercure bien pur, par dessus 10 c/m cubes d'eau oxygénée à 10-11 p. %; à la température ordinaire, le mercure se recouvre bientôt d'une pelli-

cule jaune bronze miroitante et brillante, et peu à peu commence la catalyse de l'eau oxygénée avec dégagement d'oxygène. De temps en temps, déjà après cinq minutes, mais quelquefois seulement après 25 à 40 minutes, on remarque que le dégagement de gaz cesse à la surface du mercure, par suite de la disparition du nuage formé par les bulles de gaz, le miroir couleur de bronze à la surface du métal est visible comme un reflet d'argent. Après une pause d'une ou plusieurs secondes, la catalyse s'établit de nouveau en commençant au bord de la surface ; après une durée plus ou moins longue, une pause s'établit de nouveau, pendant laquelle se montre la surface miroitante jaune, et ainsi se continue ce beau et surprenant phénomène rythmique, à des intervalles très réguliers, pendant une demi-heure ou une heure. »

M. Wilke a trouvé qu'une légère alcalinité du liquide était nécessaire à l'établissement du phénomène ; cette condition explique le retard ordinaire de la catalyse rythmique, qui ne s'établit que lorsque l'eau oxygénée a dissout une petite quantité de verre qui lui donne l'alcalinité nécessaire. On détermine la mise en route immédiate du phénomène par l'addition de traces d'acétate de potassium.

En laissant se dégager par un tube étroit le gaz mis en rapport, d'autre part, avec un manomètre enregistreur, on inscrit les variations de pression et la périodicité du phénomène ; les courbes ainsi obtenues présentent une ressemblance remarquable avec les graphiques du pouls ; ces courbes sont modifiées par toutes les influences physiques et chimiques ; ce phénomène a ses poisons et présente des signes de paresse, d'engourdissement par le froid. Comme les contractions rythmées du cœur, la catalyse rythmique de Bredig produit des courants d'action que M. Antropoff a enregistré avec le galvanomètre de Einthoven, comme on le fait pour les courants du cœur. En résumé,

dans la catalyse rythmique comme dans les battements du cœur, il y a production de mouvements, d'actions chimiques et de courants périodiques.

Au chapitre : *Physiogenèse* nous étudierons un autre phénomène rythmique produit par la croissance osmotique.

CHAPITRE VII

Cohésion et Cristallisation

La cohésion est la force qui réunit les molécules chimiquement semblables, l'affinité est la force qui réunit les différents atomes constituant une molécule.

La physique a distingué trois états de la matière, l'état solide, l'état liquide, l'état gazeux. En réalité, là comme ailleurs, il y a continuité, il n'y a point entre ces trois états les limites tranchées que l'on pourrait croire, tous les états intermédiaires existent, entre les liquides et les gaz divers états de vapeur, entre les liquides et les solides, les états visqueux, gélatineux, pâteux. C'est sur la cohésion que repose la division en trois états, la cohésion est grande dans les solides, faible dans les liquides, nulle et remplacée par une force expansive ou tension dans les gaz.

C'est la cohésion qui maintient réunies les molécules constituant les êtres vivants, c'est par son intervention qu'elles se groupent, par des forces antagonistes qu'elles se séparent. Le biologiste doit donc étudier la cohésion et l'étudier dans les conditions où elle se trouve surtout en jeu dans les êtres vivants, c'est-à-dire dans les liquides hétérogènes.

Etendons sur une plaque de verre horizontale une couche d'eau salée, plaçons dans cette solution une goutte d'encre de Chine, cette goutte d'abord diffuse et nous donne un champ de diffusion monopolaire, montrant les lignes

de diffusion rayonnant du centre de la goutte dans toutes les directions. En conservant la préparation à l'abri de toute influence perturbatrice, après dix à vingt minutes, les parties colorées reviennent sur elles-mêmes, le centre noircit de plus en plus, les lignes de force se segmentent en granulations, qui grossissent et se rapprochent les unes des autres et du centre de la goutte, la goutte prend l'aspect muriforme sous lequel elle est photographiée.

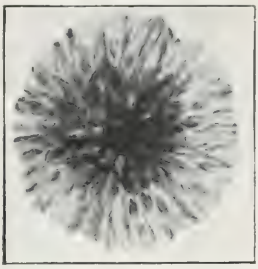


Fig. 16.

Les fig. 17, 18 et 19 représentent les aspects successifs

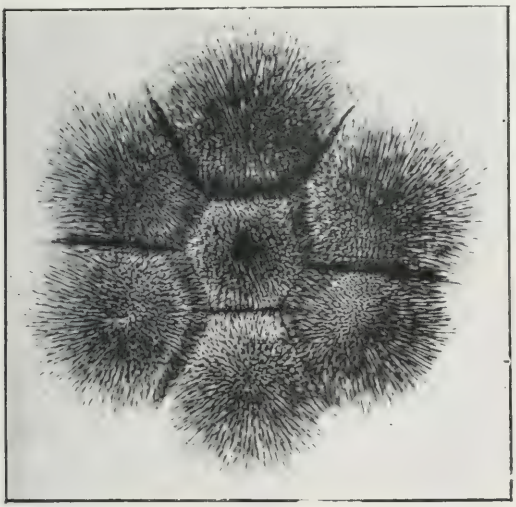


Fig. 17.

de sept gouttes d'encre de Chine ainsi placées dans une couche d'eau salée et conservées assez longtemps pour que s'accomplisse l'évolution décrite: la première figure

donne l'aspect après deux minutes, alors que la diffusion est presque complète, la seconde après 15' alors que la matière colorante s'est presque toute réunie en foyers ou granulations séparées les unes des autres, la troisième après 30' alors que les granulations se sont toutes agglomérées autour du centre des gouttes.

Ce phénomène semble devoir être interprété par l'in-

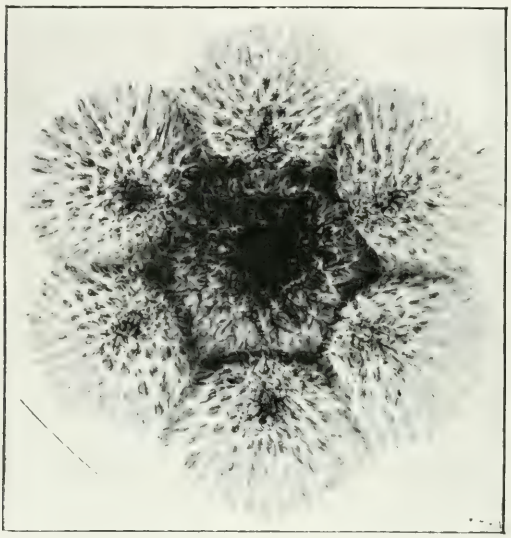


Fig. 18.

tervention de la cohésion mise en jeu par des mouvements très lents de diffusion. Que l'on imagine deux boulets soustraits à l'action de la pesanteur comme le sont les particules en suspension par la poussée hydrostatique ; supposons que ces boulets passent tous près l'un de l'autre, amenés par une force vive inférieure à l'attraction de leurs masses, cette attraction l'emportera, les boulets s'accoleront l'un à l'autre. Ce sont les conditions de l'expérience dans laquelle les particules en suspension, trans-

portées par les mouvements très lents de diffusion dans leurs sphères d'attraction réciproque, s'accolent les unes aux autres pour former les granulations.

L'expérience suivante, d'une exécution très difficile, montre bien l'action réciproque des masses colorées les unes sur les autres. Sur une plaque de verre horizontale on étend une couche d'eau salée, dans cette solution on place dans le voisinage les unes des autres des gouttes colorées de la même solution, ayant exactement la même pression osmotique que la solution, de façon à s'y conserver intactes, sans donner lieu au plus léger phénomène de diffusion. Le liquide des gouttes étant dans un milieu parfaitement homogène et symétrique ne doit éprouver aucune action de la part de ce milieu ; il n'en est pas de même de la matière colorante, on voit en effet les gouttes s'allonger les unes vers les autres, s'atteindre et se réunir. Si, comme le représente la figure, les gouttes équidistantes sont de dimensions différentes, les gouttes les plus grosses exercent une action prépondérante et s'incorporent les petites. La figure 20 représente six petites gouttes placées autour d'une grosse ; toutes ces gouttes

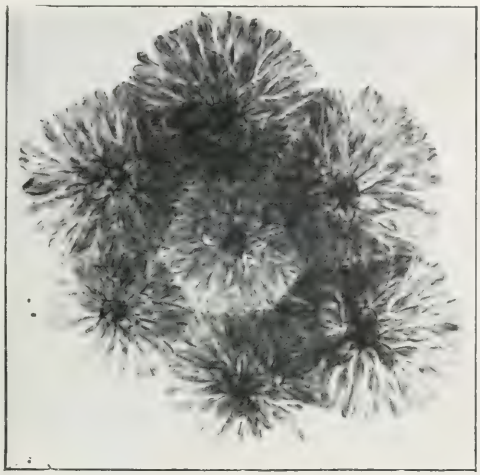


Fig. 19.

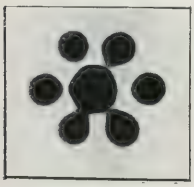


Fig. 20.

ont commencé à se déformer et à se diriger vers la grosse qui elle-même s'est déformée, et, sous l'influence de l'attraction des six petites, a affecté une forme hexagonale ; c'est en face de la goutte la plus éloignée que se trouve le sommet le moins marqué de l'hexagone ; l'une

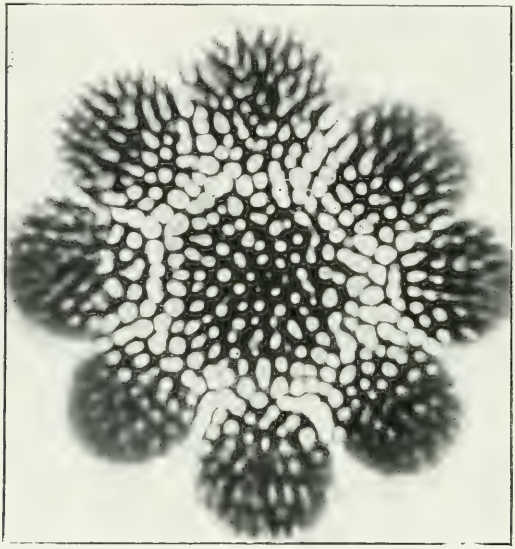


Fig. 21. — Huit gouttes d'encre de Chine 30 minutes après leur ensemencement dans de l'eau salée. Ces gouttes ont subi la diffusion et la cohésion consécutive, la photographie montre la constitution réticulaire du résultat.

des petites gouttes a commencé à s'incorporer à la grosse, le phénomène est très lent, après une heure ou deux la goutte centrale a absorbé les six petites et il ne reste plus qu'une grosse goutte.

Chez les êtres vivants, on trouve très fréquemment réalisées les conditions de ces expériences : mouvements très lents de diffusion dans des liquides contenant des particules en suspension. Les conséquences doivent en être les mêmes, granulation ou segmentation du liquide. L'incu-

bation par la chaleur détermine à travers la coque de l'œuf de l'évaporation, concentration du liquide superficiel, la conséquence est la segmentation du vitellus et la production de la morula. L'opération de la parthénogenèse expérimentale de Lœb et de Delage consiste à plonger les œufs dans un liquide autre que l'eau de mer et à les reporter ensuite dans l'eau de mer, cette opération détermine nécessairement dans l'œuf des mouvements lents de diffusion et l'on voit se produire la segmentation. C'est en vain que l'on objecterait que la segmentation s'obtient avec des solutions isotoniques à l'eau de mer, ces solutions ne détermineraient pas d'échanges d'eau avec les œufs, mais elles détermineraient, malgré leur isotonicité, des échanges d'électrolytes, c'est-à-dire des mouvements très lents de diffusion, et ce sont les conditions les plus favorables à la cohésion des particules en suspension et à la segmentation.

Peu de phénomènes physiques me paraissent présenter plus d'intérêt pour la connaissance des phénomènes de la vie que celui que nous étudions ici. Dans de l'eau salée répandue sur une plaque de verre horizontale, on dépose, suivant une circonférence, des gouttes d'une solution plus concentrée, colorée par de l'encre de Chine, pour produire des mouvements de diffusion dans l'intérieur de la circonférence ; lorsque la diffusion est devenue extrêmement lente, imperceptible, on voit apparaître un sillon dans la masse, puis un second, puis des sillons dans les segments ainsi produits, enfin la segmentation est devenue complète et la préparation présente l'aspect muriforme, l'aspect de morula sous lequel elle est photographiée ; si l'on conserve la préparation plus longtemps, après plusieurs heures les cellules formées par la segmentation se sont réunies sur la circonférence, de façon à former une sorte de poche correspondant au stade gastrula, comme le montre la photographie. *Fig. 22.*

Ces préparations sont d'une sensibilité extrême qui rend les expériences très difficiles, j'ai cependant souvent projeté ces expériences dans des cours, la plus légère diffusion influence le phénomène, les sillons et les segmentations peuvent être régulièrement orientés par la direction des lignes de diffusion. On peut par ce phénomène produire toutes sortes de structures lamellaires, vacuolaires, cellulaires, toutes les Waben Struktur que l'on rencontre chez les êtres vivants. Toutes ces structures sont rétractiles, elles se rétractent et diminuent d'étendue très lentement, comme si la cohésion continuait son action dans les trames de la structure, le phénomène se présente comme une reproduction synthétique et purement physique du phénomène de la coagulation, la structure qui se forme se comporte comme un caillot rétractile.

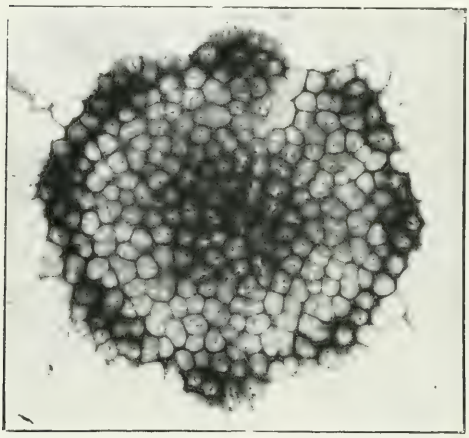


Fig. 22.

Il est évident qu'un grand nombre des phénomènes que nous présente la vie appartiennent à la physique moléculaire, et il semble que des recherches comme celles exposées dans ce chapitre devraient nous en faire connaître le mécanisme.

Lorsqu'une solution de cristalloïde se concentre, elle est le siège de mouvements lents de diffusion et, a un moment donné, il s'y forme des agglomérations sous formes de cristaux ; la cristallisation se présente ainsi comme un cas particulier de la glomérulation par cohésion ; elle

en diffère par la régularité dans l'arrangement des molécules et la forme géométrique des cristaux. Le fait qu'un fragment de cristal ou d'un autre corps est utile pour amorcer le phénomène s'explique dans notre interprétation ; si le liquide où se produisent les mouvements lents de diffusion est parfaitement homogène, les molécules ne peuvent être fixées par aucun centre d'attraction, mais s'il existe un point hétérogène, un cristal, formant par sa masse un centre d'attraction, toutes les molécules apportées par la diffusion dans sa sphère d'attraction seront fixées par lui. Nous avons pu photographier l'arrangement des molécules dans un liquide autour des cristaux en formation, en additionnant ce liquide de traces de substance colloïdale, gélatine, gomme, etc., nous avons ainsi constaté qu'en dehors du cristal, dans le liquide environnant, dans une certaine étendue de l'espace qui constitue le champ de cristallisation du cristal, les molécules sont déjà disposées suivant un ordre régulier, compliqué, et variable d'un cas à l'autre, l'ordre le plus fréquent est celui représenté par la photographie *fig.* 24. C'est le champ d'un cristal de chlorure de sodium, le cristal se construit au centre, par un premier carré dont les côtés sont très noirs, sur chacun des sommets de ce carré est une droite perpendiculaire aux diagonales, ces droites

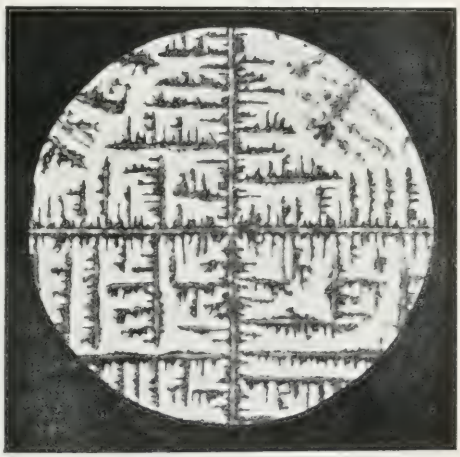


Fig. 23. — Champ de formation d'un cristal de chlorure de sodium.

représentent les faces du cristal en formation, sur le milieu de chacune de ces droites est une perpendiculaire, portant elle-même transversalement de nombreuses perpendiculaires, qui elles-mêmes portent d'autres perpendiculaires, sur lesquelles on distingue encore d'autres perpendiculaires. La photographie 25 représente un degré plus avancé dans lequel on voit nettement les deux carrés intérieur et extérieur à 45° l'un de l'autre.

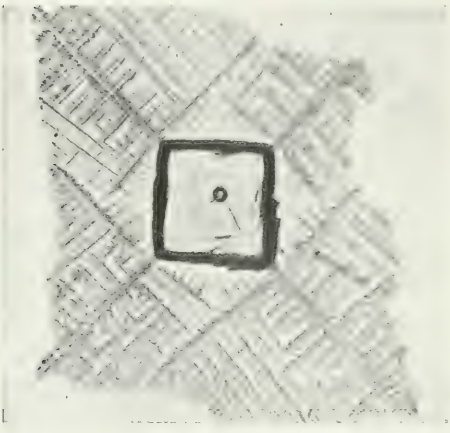


Fig. 24.— Champ autour d'un cristal de chlorure de sodium en formation.

Chaque substance cristallisable donne un champ diffé-

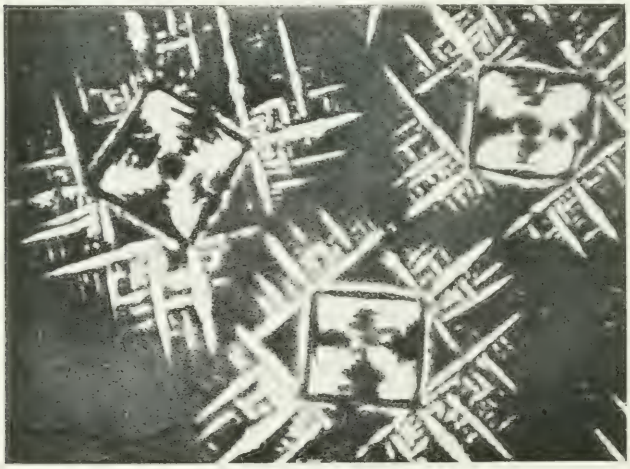


Fig. 25. — Trois cristaux de chlorure de sodium photographiés en formation au milieu de leurs champs.

rent et caractéristique. En août 1903, je terminais une communication au Congrès de l'A F A S, à Angers, en disant : « Les champs de cristallisation peuvent servir à caractériser les substances.

Après cette communication, M. Francisco Carbonell y Solès de Barcelone m'envoya un très intéressant travail sur ce sujet qu'il avait présenté en avril 1903, au Congrès international de Médecine de Madrid : « *Aplicacion de la cristalogenia experimental à la investigacion toxicologica de cas alcaloïdes.* »

Il y a six ans environ, je reçus d'Australie une très belle photographie et une longue lettre m'exposant que l'objet photographié était une étrange pellicule trouvée dans une jauge pour l'eau de pluie. Mon correspondant avait vu dans un Christmas number du Strand Magazine, quelques-unes de mes photographies de décharges électriques et il m'écrivait pour me demander si cette étrange figure n'était pas née dans la jauge sous l'influence d'un champ électrique ou magnétique ; il m'envoyait le plan des installations du voisinage et me disait avoir consulté en vain les professeurs d'Australie, sur la nature de ce dessin. Je lui répondis par retour du courrier que la figure était le résultat de la cristallisation du sulfate de cuivre

Fig. 26. — Actions moléculaires de la cristallisation, effet morphogénique de la cristallisation du chlorure de sodium dans une solution colloïdale.

dans un milieu colloïdal. Je reçus une lettre de remerciements et de félicitations, me disant que dans la localité où on avait recueilli et photographié ce dessin, on travaillait beaucoup le sulfate de cuivre, que l'air était chargé de poussières de ce sel, et qu'enfin grâce à mes indications, on avait pu s'assurer expérimentalement de l'exactitude de mon interprétation.

Les êtres vivants sont formés de solutions de colloïdes

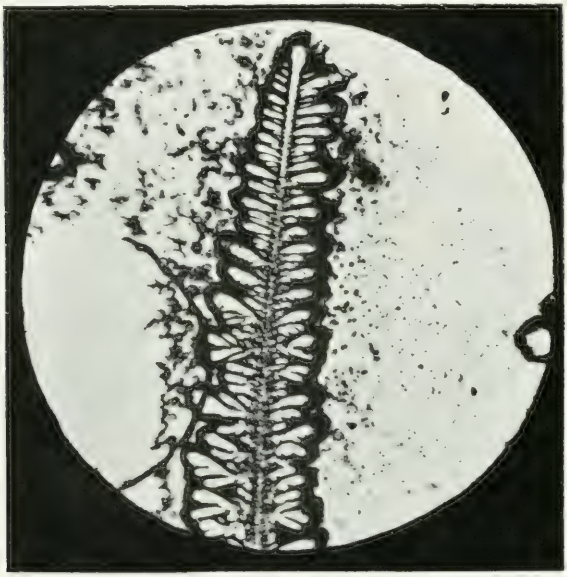


Fig. 27. — Forme produite par la force de cristallisation dans les colloïdes.

et de cristalloïdes, c'est de ces solutions que se forment leurs tissus ; nous avons vu comment s'exerce dans ces solutions la force de cristallisation, cette force de cristallisation doit donc jouer un rôle chez les êtres vivants, elle doit influencer leur morphologie et, à ce point de vue, il est intéressant de connaître quelques-unes des nombreuses formes qu'engendre la force de cristallisation dans les solutions colloïdales.

Les figures 26 et 27 représentent des formes produites par le chlorure d'ammonium et par le chlorure de sodium dans de la gélatine à divers degrés de concentration, leur ressemblance avec la morphologie générale de certains végétaux est remarquable, cette ressemblance avait déjà frappé d'ailleurs, puisque sans étude du sujet, et sans autre idée de rapprochement, on désignait ces sortes de figures par l'expression : cristaux en feuilles de fougères.

Nous devons, à cette place, mentionner les nombreux et très intéressants travaux de M. Otto Lehmann de Karlsruhe, sur les cristaux liquides ; l'auteur s'applique avec talent à faire ressortir toutes les analogies de fonctions et de formes que ses cristaux liquides présentent avec les êtres vivants. Voir Flüssige Kristalle und die Théorie des Lebens. Von O. Lehmann ; Leipzig Verlag von Johann Ambrosius Barth, 1906.

CHAPITRE VIII

La Karyocinèse

En 1873, dans le 7e vol. du *Journal d'Iéna*, Hermann Fol, décrivant les œufs de Geryonia en voie de division, écrivait : « Des deux côtés des restes du noyau se montrent des concentrations du plasma, dont les granulations accumulées représentent deux figures en forme d'étoiles parfaitement régulières. Les rayons de ces étoiles sont formés par l'alignement en lignes droites de granulations. Plusieurs de ces rayons vont d'une étoile, ou centre d'attraction, à l'autre en décrivant une courbe. Toute la figure est extraordinairement claire, et rappelle d'une manière frappante l'aspect et la manière dont la limaille de fer se dispose autour et entre les deux pôles d'un aimant. »

« J'adhère à la théorie de Sachs, qui admet que la division se fait par des centres d'attraction ; mon adhésion n'est pas déterminée par des raisons théoriques, mais parce que ces centres d'attraction, je les ai vus. »

Depuis la découverte d'Hermann Fol, on a donné un grand nombre d'explications, toutes théoriques d'ailleurs, des figures et du phénomène de la karyocinèse ; beaucoup de ces explications sont mécaniques, les autres invoquent le magnétisme ou l'électricité, en raison de la ressemblance des figures de la karyocinèse avec les fantômes ou spectres magnétiques ou électriques. Nous signalerons, parmi les auteurs qui se sont occupés de cette question, M. Marcus

Hartog, de Cork ; M. Gallardo, de Buenos-Ayres ; M. Rhumbler, de Göttingue.

En 1904, j'ai présenté au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences à Grenoble, en 1906 à Lyon, des mémoires avec photographies de préparations, montrant comment, dans des solutions analogues à celles qui sont dans les cellules, sans intervention de magnétisme et d'électricité, la simple diffusion des liquides peut reproduire avec une ressemblance parfaite, dans leur ordre successif et régulier, tous les mouvements et toutes les figures de la karyocinèse. J'ai répété les expériences devant la section de physiologie du Congrès de Lyon. Dans ces expériences, il ne s'agit pas d'obtenir une figure comme on produit un spectre magnétique ou électrique. L'expérience reproduit à la fois les caractères graphiques, dynamiques et cinétiques du phénomène qui se déroule devant l'expérimentateur en lui montrant dans leur ordre successif et régulier les mouvements et les figures successives de la karyocinèse.

Je reproduis ici le texte de ma communication de Grenoble : « Jusqu'à notre théorie des champs de diffusion, il n'y avait aucun moyen d'étudier les actions de la diffusion suivant les lois des champs de force de Faraday ; on ne soupçonnait pas, d'ailleurs, la possibilité de produire, par la diffusion des liquides, des spectres analogues aux fantômes électro-magnétiques. Guidé par notre théorie des champs de force, nous avons entrepris la reproduction expérimentale, par diffusion des liquides, des figures de la karyocinèse. En ce qui concerne la figure achromatique, M. le Professeur Hartog nous a fait remarquer que les deux pôles du fuseau devaient être, non pas de signes contraires, comme cela a lieu dans les figures magnétiques analogues, ou comme sont les pôles du fuseau, fig. 4 de notre mémoire : Champs de diffusion, Congrès de Montauban, 1902, mais de même signe. La considération des figures

données par les auteurs, et surtout celle du phénomène de la karyocinèse, nous ont conduit à reconnaître l'exactitude de son observation. Dans la karyocinèse, les deux centrosomes, les deux pôles du fuseau achromatique s'éloignent l'un de l'autre, se repoussent, ils doivent donc être de même signe. Cependant, il n'existe aucun spectre électrique ou magnétique ayant un fuseau entre deux pôles de même nom, la production d'un fuseau dans de pareilles conditions doit paraître une absolue impossibilité. Ce qui est une impossibilité en électricité et en magnétisme, ne l'est point pour la diffusion avec laquelle on peut produire un fuseau entre deux pôles qui se repoussent, entre deux pôles de même signe. La figure 28 est la photographie d'un pareil fuseau, produit par diffusion ; on voit à ses extrémités ses pôles représentant ses centrosomes, pôles entourés de radiations asters ; ces pôles sont de même signe, ils se repoussent, et, sur la préparation, on voit augmenter la distance qui les sépare, ils s'éloignent l'un de l'autre comme s'éloignent les deux centrosomes d'une cellule pendant la karyocinèse. Cette figure, produite par diffusion, présente d'ailleurs une ressemblance parfaite avec les figures achromatiques de la karyocinèse.

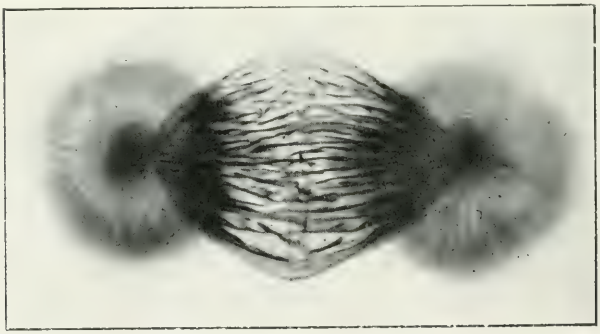


Fig. 28. — Reproduction, par diffusion, de la figure achromatique de la karyocinèse ; fuseau entre deux pôles de même signe.

« Le fuseau dont nous donnons la photographie a été produit en plaçant dans un plasma une goutte de ce même plasma pigmentée avec du sang ou de l'encre de Chine, et en plaçant, de part et d'autre de cette goutte, deux gouttes hypertoniques, légèrement teintées : laissant la diffusion s'exercer on obtient, après quelques minutes, la forme liquide que nous avons photographiée. On y remarque le plan équatorial qui montre que le fuseau est formé non par une force allant d'un pôle à l'autre, comme cela a lieu entre deux pôles de noms contraires, mais bien par deux forces agissant dans des directions opposées, le pigment de la goutte centrale se dirigeant de part et d'autre vers chaque pôle positif, centre hypertonique le plus voisin. Le pigment dans le plan de l'équateur, sollicité dans des directions exactement opposées, par des forces égales, reste immobile et trace le plan équatorial. Ces observations s'appliquent aux plaques équatoriales de la karyocinèse dont l'existence se trouve ainsi expliquée. »

« Il est inutile d'insister sur le fait, que de pareils édifices, entièrement liquides, sont d'une fragilité extrême ; que leur production et leur photographie exigent non seulement les plus grands soins, mais encore une habitude que l'on ne peut acquérir que par la pratique, en s'exerçant d'abord à la production des figures liquides plus simples, décrites avec la technique, dans notre mémoire du Congrès de Montauban ».

« Ce n'est pas seulement la figure achromatique que l'on peut reproduire et étudier par diffusion, mais encore les figures et les phénomènes présentés par la substance chromatique, la division du noyau. En plaçant dans un plasma une goutte isotonique pigmentée, entre deux gouttes hypertoniques teintées, on peut voir apparaître successivement et dans leur ordre régulier, toutes les figures, tous les mouvements, tous les phénomènes de la karyocinèse. La goutte centrale, représentant le noyau,

placée entre les deux gouttes latérales, représentant les centrosomes, devient granuleuse, puis on y voit apparaître une bande enroulée, analogue de la bande chromatique, laquelle se fragmente pour donner l'analogue des chromosomes, ceux-ci s'orientent, puis se mettent en marche vers les centrosomes ; ils s'y rassemblent pour former deux masses pigmentées nucléaires ; pendant ce temps, il se forme une cloison au milieu de l'intervalle qui les sépare, cette cloison se continue avec la paroi de chacune des sphères ayant chaque centrosome pour centre, et finalement, ou à l'image de deux cellules accolées avec leurs noyaux, leurs masses protoplasmiques et leurs membranes d'enveloppe. On peut d'ailleurs photographier ces aspects successifs comme nous l'avons fait pour le fuseau dont nous donnons la photographie. »

Ainsi ce mémoire, en 1904, fait ressortir l'homopolarité des centrosomes et montre la division nucléaire comme le résultat d'une action bi-polaire, de deux pôles de même signe, exerçant leurs actions de part et d'autre du noyau.

Ce mémoire établit ce fait capital que la diffusion et jusqu'ici la diffusion seule, donne un fuseau entre des pôles de mêmes noms, entre des centres de forces qui s'éloignent comme on l'observe dans la karyocinèse.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la photographie pour voir un fuseau entre deux pôles de même signe, car les lignes partent de l'un des centres, et, par une courbe, vont converger vers l'autre centre de même signe. C'est cela un fuseau. Aucune discussion ne saurait changer le fait. La goutte intermédiaire, placée au début entre les deux pôles de même signe, est simplement un moyen d'atteindre ce résultat : un fuseau entre deux pôles de même signe ; cette goutte doit avoir une pression osmotique, c'est-à-dire une concentration moléculaire, très légèrement inférieure à celle du plasma, mais en différant si peu qu'elle ne doit pas donner de lignes radiales comme un centre de force ;

son action transitoire n'est destinée qu'à aboutir au fuseau entre deux pôles de même nom. On voit sur la photographie les lignes du fuseau traverser l'équateur sans solution de continuité ; on a dit : ce n'est pas un fuseau, ce sont deux demi-fuseaux, évidemment ; tout objet entier est formé de deux moitiés, mais ici les deux demi-fuseaux sont réunis pour former un fuseau entre deux pôles de même signe. Ce fuseau est formé dans des conditions inconnues, en magnétisme et en électricité, où un pôle de nom contraire placé entre deux pôles de même signe, donne toujours deux fuseaux. En électricité et en magnétisme, jusqu'ici tout au moins, on ne peut faire converger les lignes émanant d'un pôle que vers un pôle de nom contraire et tous ceux qui admettent l'homocentricité des centrosomes et la bi-polarité de la division du noyau, ne devraient admettre que la diffusion comme cause de la karyocinèse, car invoquer dans ces circonstances l'électricité et le magnétisme c'est, sans mentionner beaucoup d'autres objections aussi péremptoires, les invoquer pour produire un résultat que l'on n'a jamais obtenu ni avec l'une ni avec l'autre. Je répète donc ce que je disais à Grenoble en 1904, jusqu'ici la diffusion et la diffusion seule a pu produire un fuseau entre deux pôles de même signe.

Pour faire l'expérience reproduisant le phénomène de la division du noyau, on dispose sur une plaque de verre horizontale une couche d'eau salée, représentant le cytoplasma. On constitue le noyau artificiel avec une goutte de la même solution colorée avec une petite quantité d'encre de Chine dont les particules microscopiques constituent les granulations chromatiques de notre noyau. L'addition d'un peu d'encre de Chine au liquide du noyau abaisse sa concentration moléculaire et sa pression osmotique qui doivent être très légèrement inférieures à celles du plasma. De part et d'autre de ce noyau artificiel, on

met dans le liquide plasmatique une goutte de la même solution plus concentrée, légèrement colorée. On voit aussitôt les granulations chromatiques du noyau se disposer en un long ruban chromatique enroulé en spirème et présentant des prolongements latéraux en forme de sacules. Ce ruban peu à peu devient lisse et affecte un double contour. La photographie A, fig. 29 correspond à cette période, et représente un spirème artificiel. La bande enroulée se divise, on voit se former un fuseau nucléaire et la substance chromatique s'oriente dans le plan équatorial ainsi que le montre la photographie B ; la fig. C d'une période plus avancée de l'évolution montre des bandes chromatiques ou chromosomes artificiels groupés en deux faisceaux convergeant vers les centrosomes, faisceaux qui restent longtemps réunis par de fins filaments, vestiges du fuseau nucléaire. La fig. D est la photographie du phénomène au terme ultime ; on voit qu'il aboutit à la formation de deux cellules artificielles, juxtaposées, dont les noyaux sont formés par les centrosomes primitifs augmentés des bandes chromatiques ou chromosomes artificiels.

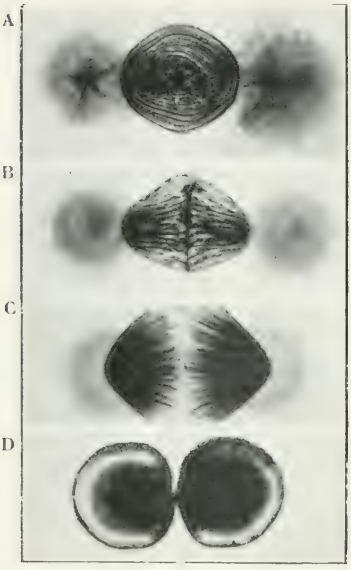


Fig. 29. — Photographie de quatre des aspects successifs observés dans la reproduction artificielle, par diffusion, de la karyocinèse.

La ressemblance de cette succession de phénomènes évolutifs avec la karyocinèse est telle, que l'on peut lui appliquer sans modification les descriptions données de la karyocinèse et inversement. Ces expériences montrent

que la diffusion seule peut suffire à produire la karyocinèse, la force physique en jeu est la pression osmotique. Si dans le cytoplasma d'une cellule il se trouve deux points de concentration moléculaire plus forte que celle du reste de la masse, d'après les lois que vient de nous révéler l'expérience, le noyau doit se diviser en suivant les phénomènes de la karyocinèse. Les deux centres positifs de diffusion peuvent ou être introduit dans la cellule et le cytoplasma, ce serait la fécondation, ou naître en deux centres de catabolisme ; le catabolisme ou dislocation moléculaire, élevant la pression osmotique que l'anabolisme abaisse.

Dans notre expérience, pour obtenir régulièrement la division du noyau artificiel représenté par la goutte intermédiaire, celle-ci doit avoir une pression osmotique un peu inférieure à celle du plasma. Cela fait présumer que dans la cellule il faut aussi, pour la production de la karyocinèse, que cette condition se réalise. D'autre part, dans toutes nos expériences, les granulations pigmentaires en suspension suivent les courants d'eau, elles sont entraînées par l'eau, pas par les substances dissoutes. S'il en est ainsi dans la cellule, au moment de la division, le noyau cellulaire doit être plus aqueux, avoir une concentration moléculaire moindre que le plasma. Cela peut être réalisé soit par la déshydratation du plasma, soit par la diminution de la concentration moléculaire dans le noyau.

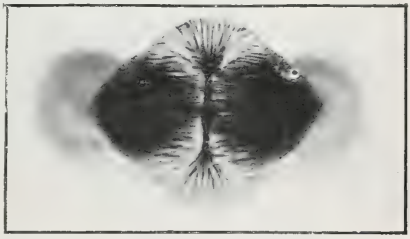


Fig. 30. — Production par diffusion de la couronne équatoriale.

Dans l'imitation, par diffusion des liquides, du phénomène de la karyocinèse, on peut inverser les pôles, mettre la goutte centrale, noyau artificiel, positive par rapport

au plasma, et les gouttes latérales, centrosomes artificiels, négatives ; on obtient encore ainsi une série de phénomènes évolutifs ressemblant à la karyocinèse, mais la ressemblance est moins parfaite que dans les premières conditions d'expérience. Sans y attacher plus d'importance que ne le permet l'état imparfait de nos connaissances sur le sujet, il est cependant permis de remarquer qu'à ces deux modes qui se présentent à nous pour déterminer la division du noyau, correspondent dans la nature deux résultats, deux sexes différents.

On peut aussi, par diffusion des liquides, obtenir d'autres particularités offertes par la karyocinèse : la figure produite par diffusion, montre aux extrémités de l'équateur des figures en V à sommets dirigés vers le centre et correspondant à ce que l'on a appelé la couronne équatoriale.

Fig. 31. — Production par diffusion d'un triaster.

On peut également reproduire par diffusion les figures des karyocinèses anormales. La figure 31 représente un triaster produit par diffusion.

CHAPITRE IX

Energétique

Le mouvement est partout. L'immobilité n'existe pas, ce que l'on désigne par ce mot est une illusion, car l'immobilité n'est qu'apparente, relative, elle disparaît par une observation attentive. La terre entraîne avec une prodigieuse vitesse tout ce qu'elle porte dans son mouvement autour du soleil ; elle tourne sur elle-même en 24 heures et les habitants de l'équateur parcourent ainsi tous les jours les 40.000 kilomètres de sa circonférence. A la surface de la terre tout est animée, le non vivant comme le vivant ; l'eau s'évapore des océans, est transportée au-dessus des continents et des montagnes, coule dans les rivières, dans les fleuves, dans les plantes, avec le sang dans les artères et les veines des animaux, et retourne à la mer. Les montagnes se désagrègent, leur substance va former les plaines ; le vent agite l'atmosphère et la surface des océans dans lesquels les différences de température produisent les courants marins. Cette agitation, ce mouvement incessant et universel ont été observés depuis longtemps par l'homme. Bien avant notre ère Héraclite écrivait : « Tout coule, tout est dans un perpétuel courant ; rien ne reste semblable à soi-même ; le changement seul est éternel. » Ovide dans ses métamorphoses écrit : « Croyez moi, rien ne périt dans ce vaste univers, mais tout varie et change de figure. Je pense que rien ne dure longtemps sous la même apparence ; ce qui

fût un terrain solide est devenue une mer ; des terres sont sorties du sein des eaux.

Madame Ackermann a exprimé les mêmes pensées en vers français :

> Ainsi, jamais d'arrêt. L'immortelle matière,
> Un seul instant encore n'a pu se reposer.
> La Nature ne fait, patiente ouvrière,
> Que défaire et recomposer.
> Tout se métamorphose entre ses mains actives;
> Partout le mouvement incessant et divers,
> Dans le cercle éternel des formes fugitives,
> Agitant l'immense univers.

Ce n'est que vers le milieu du siècle dernier que l'homme, poursuivant la recherche de l'unité de la nature, est arrivé à concevoir tous les mouvements de l'Univers comme les manifestations d'un agent unique que l'on a appelé l'énergie.

C'est surtout par l'étude de la chaleur, de la thermodynamique, que se sont développées nos connaissances de l'énergétique.

En 1798, Rumford observa, à Munich que, dans l'opération du forage des canons, le cuivre s'échauffe au point que les copeaux deviennent brûlants ; cette observation lui suggéra l'expérience dans laquelle, faisant tourner par un cheval un lourd pilon sur le fond d'un cylindre creux rempli d'eau, l'eau était ainsi portée à l'ébullition, on la remplaçait par d'autre eau que l'on portait de la même manière à l'ébullition, ainsi de suite indéfiniment. Rumford fit remarquer que la chaleur fournie indéfiniment par son système ne pouvait pas être une substance matérielle comme on l'avait cru jusqu'alors, que le mouvement seul dans son expérience pouvait ainsi se transmettre à l'eau sans limite, et par conséquent la chaleur devait être du mouvement.

L'expérience de Rumford mettait en évidence la transformation du mouvement en chaleur, la machine à vapeur venait bientôt montrer la transformation de la chaleur en mouvement.

Nos connaissances actuelles de l'énergétique reposent sur deux principes :

Le premier principe a été formulé en 1842 par un médecin-praticien J.-R. Mayer d'Heilbronn : *Bemerkungen ueber die Kväfte der unbelebten Natur.* Tous les phénomènes physiques, chimiques, vitaux, dit Mayer, sont des formes de mouvements toutes ces formes sont susceptibles de se changer les unes dans les autres, et dans toutes ces transformations, la quantité de travail mécanique que représente les différentes sortes de mouvement reste invariable. On a désigné sous le nom d'énergie la capacité qu'ont les corps de donner du travail mécanique.

W. Ostwald définit l'énergie en disant : « C'est du travail, tout ce que l'on peut obtenir du travail, et tout ce qui peut être changé en travail ». On peut mesurer l'énergie sous ses différentes formes, mais une quantité donnée d'énergie sous une forme quelconque peut se mesurer par le travail mécanique en kilogrammètres, ou par la quantité de chaleur en calorie, qu'elle peut donner en se transformant en l'une de ces deux formes, La loi de J.-R. Mayer, ou premier principe de l'énergétique, peut s'énoncer en disant : dans l'ordre de l'énergie rien ne se perd, rien ne se crée, l'énergie est éternelle. On peut l'exprimer aussi : l'énergie se conserve intégralement, la quantité d'énergie de l'univers est invariable.

L'intérêt de la découverte de J.-R. Mayer fût de son vivant complètement méconnu, Mayer souffrit beaucoup de cette méconnaissance.

L'unité à l'aide de laquelle on exprime et mesure les quantités de chaleur est la calorie ; c'est la quantité de chaleur nécessaire pour faire varier de un degré la température d'un kilogramme d'eau.

L'unité de travail mécanique est le kilogrammètre, c'est le travail nécessaire pour élever un kilogramme d'un mètre de hauteur.

Après la découverte de Mayer on chercha à vérifier sa loi quantitativement.

Joule, de Manchester, par une expérience analogue à celle de Rumford, transforma du travail en chaleur, mais en disposant l'expérience pour mesurer exactement le travail absorbé et la chaleur produite ; il divisa la quantité de travail disparu par la quantité de chaleur dégagée, et trouva que 425 kilogrammètres environ avaient été employés pour chaque calorie obtenue.

Hirn, de Colmar, mesura, sur des machines à vapeur, quelle était, pour une quantité de travail obtenue, la chaleur absorbée ; il trouva que pour chaque calorie disparue on obtenait une quantité de travail voisine de 425 kilogrammètres.

Ce chiffre de 425 représente donc en kilogrammètres le résultat de la transformation d'une calorie en travail ; et inversement une calorie représente le résultat de la transformation en chaleur de 425 kilogrammètres de travail, 425 kilogrammètres sont en travail mécanique l'équivalent d'une calorie.

Les mesures effectuées sur les transformations des autres formes de l'énergie. énergie chimique, énergie électrique, ont montré que, conformément à la loi de Mayer, la loi de l'équivalence était générale et que la quantité de travail mécanique représentée par une forme quelconque de l'énergie se retrouvait toujours intégralement après une transformation, quelle que soit cette transformation.

L'énergie se présente sous deux états, l'état potentiel et l'état actuel.

L'énergie à l'état potentiel a besoin de l'intervention d'une énergie étrangère, énergie excitatrice pour se transformer. C'est de l'énergie au repos.

L'énergie actuelle est prête à se transformer sans l'intervention d'une énergie étrangère. C'est de l'énergie en mouvement.

Le passage d'une quantité donnée d'énergie de l'état potentiel à l'état actuel ne s'effectue pas instantanément et, pendant la durée du changement d'état, la somme de l'énergie actuelle produite et de l'énergie restée potentielle est toujours égale à l'énergie totale.

Un poids suspendu par un fil possède une quantité d'énergie égale au produit de ce poids par la hauteur de laquelle il peut tomber. Cette énergie est potentielle, car elle ne pourra se transformer que si une énergie étrangère vient couper le fil qui soutient le poids ; ce fil coupé, lorsque le poids a effectué la moitié de sa chute, la moitié de son énergie est devenue actuelle et est représentée par la force vive du poids ; la moitié est encore potentielle et est représentée par le travail que le poids peut accomplir pendant la seconde moitié de sa chute. Enfin la somme de ces deux énergies est égale à l'énergie totale que le poids possédait avant sa chute. L'énergie de la poudre contenue dans une arme est potentielle jusqu'à ce qu'une énergie étrangère vienne presser la détente pour enflammer l'amorce, elle se change en énergie actuelle par la combustion, et se transforme en énergie mécanique dès qu'elle commence à déplacer le projectile.

Tout appareil susceptible de faire passer l'énergie d'une forme à une autre est un transformateur d'énergie. Telle est la machine à vapeur, dans laquelle l'énergie chimique, provenant de la combustion du charbon est transformée en énergie calorifique, puis l'énergie calorifique en travail mécanique. Telles sont les machines électriques qui transforment le travail mécanique en électricité ou inversement. Les piles qui transforment en électricité l'énergie chimique, les lampes électriques qui transforment l'énergie électrique en lumière et en

chaleur. L'homme et les animaux sont également des transformateurs d'énergie, ils changent en énergie mécanique et en énergie calorifique l'énergie dégagée dans les actions chimiques que subissent les aliments dans les tissus.

Le premier principe de l'énergétique ou de la conservation de l'énergie est analogue au principe de Lavoisier ou loi de la conservation de la matière sur laquelle est édifiée la chimie, le signe égal qui sépare les deux termes d'une équation chimique, exprime qu'après toute réaction chimique, c'est-à-dire après toute transformation chimique de la matière, on doit retrouver intégralement le même poids de matière que dans le premier état ; il en est ainsi pour l'énergie, après toute transformation d'énergie on doit retrouver intégralement la même quantité d'énergie qu'avant la transformation ; mais ce premier principe ne nous apprend rien, ni sur les conditions de la transformation, ni sur les causes, c'est-à-dire les phénomènes antérieurs qui la détermine.

Le second principe de l'énergétique, découvert par Sadi Carnot, en 1824, nous fait connaître les conditions nécessaires pour qu'une transformation énergétique puisse s'accomplir. Une masse d'eau, placée à une certaine hauteur, représente une quantité d'énergie mécanique égale au produit de son poids par sa hauteur moyenne, mais cette énergie ne peut se transformer en travail mécanique que si l'eau peut tomber, que si l'on dispose d'une hauteur de chute. Considérons deux lacs de même capacité, situés au même niveau au-dessus de la mer, ils représentent la même quantité d'énergie potentielle, mais si l'un est un lac intérieur, sans écoulement comme le lac des Mormons, sans hauteur de chute pour laisser tomber l'eau, son énergie est inutilisable car elle ne peut se transformer ; l'autre lac au contraire, dont l'eau s'écoule dans la mer et dont on peut utiliser la chute, réalise les conditions d'utilisation, de

transformabilité de son énergie. Il en est de même pour toutes les formes de l'énergie, une machine thermique ne permet de transformer la chaleur en travail qu'à la condition de disposer d'une chute de température.

L'énergie se présente partout à nous comme le produit de deux facteurs, par exemple la masse d'eau et la hauteur de chute ; dans une machine à air chaud, la quantité de chaleur et la température ; l'un des facteurs Q est appelé facteur de quantité, l'autre la hauteur, la différence de température, les différences de pression d'un gaz, en un mot la différence de potentiel, facteur d'intensité. La transformation énergétique ne peut s'accomplir qu'à la condition d'avoir une différence de potentiel et la possibilité d'établir un courant d'énergie.

Le principe de Carnot ou second principe de la thermodynamique peut se résumer en disant : l'énergie ne peut se transformer qu'où il existe une chute de potentiel.

Ce deuxième principe ressort bien de la considération du rendement. On appelle rendement d'un transformateur le rapport de la quantité d'énergie transformée, à la quantité d'énergie fournie à ce transformateur.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{énergie transformée.}}{\text{énergie totale fournie.}}$$

L'énergie totale fournie est égale au produit du facteur quantité par l'intensité totale I dont on dispose, l'énergie transformée est égale au produit du même facteur quantité par la différence d'intensité (hauteur, température, pression) entre la sortie et l'entrée, et le rendement devient : $R = \frac{I - I'}{I}$.

Si I représente une température, on voit que pour avoir un rendement positif il faut que I' soit plus petit que I, c'est-à-dire que l'on dispose d'une chute de température. Si I' était plus grand que I, si la température

de sortie était plus élevée que celle d'entrée, le rendement serait négatif, le transformateur aurait dû emprunter de la chaleur à une source étrangère.

Tel est le principe de Carnot, qui après son énoncé resta longtemps sans aucune considération, malgré son immense valeur pour nous aider dans l'utilisation des énergies de la nature et dans la compréhension des phénomènes.

Dans toutes les transformations de l'énergie une partie de l'énergie se transforme en chaleur ; nos lampes, en même temps que de la lumière, nous donnent une chaleur inutile, nos machines s'échauffent et le rendement est d'autant moindre que la perte sous forme de chaleur est plus grande. Ce n'est que sous forme de chaleur que l'énergie peut passer sans subir de transformation, d'un corps chaud qui se refroidit, dans un corps froid qui s'échauffe, lorsque l'égalité de température est établie, la quantité d'énergie n'a pas changée, mais par suite de l'égalisation de la température, elle est devenue intransformable, inutilisable. Dans toutes les transformations d'énergie, une fraction se change en chaleur, sous cette forme les différences de températures tendent à s'égaliser, et à rendre ainsi l'énergie inutilisable. Clausius a donné le nom d'entropie à cette énergie inutilisable, et comme l'a fait remarquer Clausius et comme il ressort de ce que nous venons de dire, l'entropie, c'est-à-dire la proportion d'énergie inutilisable va toujours en augmentant, et la proportion d'énergie utilisable diminue de la même quantité.

Si l'augmentation de l'entropie était une vérité absolue, l'Univers irait vers une fin déterminée par la transformation en entropie de toute son énergie, c'est-à-dire par la transformation en chaleur, avec une température uniforme de l'énergie universelle. L'Univers a derrière lui un passé infini, tout ce que nous savons nous conduit

à conclure que les phénomènes de la Nature se déroulent dans un cycle éternel. Nos conclusions relatives à l'entropie ne s'appliquent qu'aux faits et aux phénomènes actuellement connus de nous, elles reposent sur l'impossibilité actuelle, sans emprunt d'énergie extérieure, de rétablir les différences de température, de puiser de la chaleur dans un corps froid pour la concentrer dans un corps chaud. Notre ignorance de ce phénomène, notre impuissance à le produire, n'établissent nullement sa non existence, son impossibilité, il peut exister dans d'autres lieux de l'espace, il peut exister dans d'autre temps que le nôtre et nous ne devons pas renoncer à le connaître, car par l'expérience nous pouvons instituer des conditions qui ne se trouvent pas spontanément réalisées dans la Nature actuelle, et qui, en conséquence, peuvent nous révéler des phénomènes complètement nouveaux pour notre temps. Dans les ouvrages de M. Gustave Le Bon : *L'Évolution de la matière, et l'évolution de l'énergie,* on trouvera, sur ces sujets, des aperçus originaux développés de façon très attachante.

Le premier principe nous renseigne sur la conservation de l'énergie, le second sur les conditions nécessaires à sa transformation, mais ces conditions nécessaires ne sont pas suffisantes, un poids suspendu par un fil ne tombe pas par le fait que l'on dispose d'une hauteur de chute, il faut couper le fil, il faut l'intervention d'une énergie étrangère, énergie excitatrice ou de déclanchement, énergie minime sans aucune proportion avec les quantités d'énergie qu'elle va libérer de l'état potentiel pour en déterminer la transformation. Cette intervention de l'énergie excitatrice est générale, tous les phénomènes de la nature sont des transformations ou des transports d'énergie, tous les phénomènes sont la manifestation d'une chute de potentiel, d'un courant d'énergie déterminé par l'intervention d'une petite quantité d'énergie étrangère. Cette libération de grandes

quantités d'énergie potentielle par de très petites quantités d'énergie étrangère nous paraît n'avoir pas reçu une considération suffisante. Certains phénomènes comme les actions chimiques catalytiques, l'action des ferments solubles, sont présentés avec étonnement en raison du fait que de très petites quantités de matière déterminent la transformation chimique de grandes quantités de substance sans aucune condition de proportionnalité. Ces phénomènes ne sont que des cas particuliers des lois générales de l'énergétique : le catalysateur, le ferment, apporte l'énergie excitatrice dont il faut seulement déterminer la nature physique ; cette énergie excitatrice libère l'énergie chimique potentielle de la substance qui se transforme. Le phénomène ainsi considéré rentre dans les lois générales de l'énergétique.

On énonce habituellement deux principes de l'énergétique : 1° le principe de la conservation de Mayer ; 2° la condition d'avoir une chute de potentiel ou principe de Carnot. Cependant, pour provoquer la transformation d'une énergie potentielle quelconque, pour déterminer le courant d'énergie nécessaire à la transformation, l'intervention d'une énergie étrangère, excitatrice est indispensable, cette intervention est le premier phénomène, la cause déterminante de la transformation.

Tout phénomène est une transformation ou un déplacement d'énergie, trois conditions président et règlent son accomplissement : la première, celle qui détermine le phénomène, sa cause, c'est l'intervention d'une énergie étrangère excitatrice ; la seconde, est une condition de possibilité, c'est l'existence d'une chute de potentiel ; la troisième, c'est la condition de conservation, c'est l'indestructibilité de l'énergie en jeu.

Les êtres vivants sont des transformateurs d'énergie. Les animaux et l'homme reçoivent, sous forme d'aliment et d'air, de l'énergie potentielle, cette énergie devient

actuelle par les oxydations qui s'accomplissent dans les tissus. La source de l'énergie vitale est une combustion. Les anciens avaient comparé la vie à une flamme, et Lavoisier a démontré que la vie, comme la flamme était entretenue par des oxydations. L'énergie rendue actuelle est restituée au monde extérieur sous forme de chaleur et en énergie mécanique par laquelle se manifestent les êtres vivants. Les mesures calorimétriques, en particulier les célèbres expériences d'Atwater, ne laissent aucun doute sur l'égalité entre l'énergie résultant de l'oxydation des aliments et la somme des énergies calorifiques et mécaniques dégagées par les êtres vivants.

Les aliments qui fournissent à l'homme l'énergie qu'il transforme viennent du règne végétal, soit directement, soit indirectement après être devenu chez les animaux la chair alimentaire.

Les végétaux empruntent leur substance au règne minéral, elle est alors dépourvue d'énergie potentielle chimique ; l'eau, l'acide carbonique absorbés par les plantes ne possèdent point d'énergie potentielle ; mais la substance verte des feuilles, la chlorophylle, à la propriété d'absorber l'énergie des radiations solaires et de la transmettre au carbone de l'acide carbonique et à l'eau ; elle réduit le gaz carbonique, sépare l'oxygène du carbone qu'elle unit à l'eau en différentes proportions pour former des hydrates de carbone, les sucres et les fécules ; par un mécanisme analogue se forment les graisses et les albumines végétales. Toutes ces substances en s'oxydant dans le corps de l'homme libèrent l'énergie qu'elles ont emprunté aux rayons solaires.

Le soleil est la source de toute l'énergie qui nous anime, il est la source de l'énergie qui anime toute la surface de la terre ; c'est lui qui donne sa force à la machine à vapeur ; c'est lui qui produit le vent qui gonfle les voiles de nos navires, c'est lui qui transporte de l'océan à la mon-

tagne l'eau qui forme ensuite les chutes, les torrents, les rivières, les fleuves, retourne à la mer. Il n'est pas sur notre planète une manifestation du mouvement, de la vie, qui ne vienne du soleil.

Par quelle voie l'énergie chimique des êtres vivants se transforme-t-elle en énergie mécanique? Passe-t-elle, comme dans la machine à vapeur, par l'état intermédiaire de chaleur? Le rendement R d'un transformateur thermique est proportionnel au rapport de la différence de température absolue entre l'entrée et la sortie à la température absolue à l'entrée : $R=\frac{T-T'}{T}$, ce rendement, pour l'homme, atteint 0,20, vingt pour cent de l'énergie qui le traverse peut être transformée. La température du muscle T' étant 38° centigrades, =38+273 ou 311° absolus, nous aurions $0{,}20=\frac{T-311}{T}$ ou $T=\frac{1-0{,}20}{311}=\frac{0{,}80}{311}=388°75$ absolus ou 115°75 centigrades. Cette température de 115°75 à l'entrée du transformateur thermique qu'il faudrait pour donner un rendement de 0,20 avec une température de sortie de 38°, est incompatible avec l'intégrité des tissus et nous devons conclure que le transformateur animal n'est pas une machine thermique.

Nous ignorons le mode de transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique chez les êtres vivants. Nous ne connaissons de cette transformation que le changement de forme qui constitue la contraction musculaire : au moment de la transformation les combustions augmentent et la fibre musculaire allongée se raccourcit et tend à prendre la forme sphérique, c'est ce raccourcissement qui donne l'énergie mécanique. Ce que nous ignorons ce sont les phénomènes physiques par lesquels l'énergie chimique dégagée amène le raccourcissement musculaire.

Il est probable que chez les êtres vivants, comme l'a supposé M. d'Arsonval, la transformation de l'énergie chimique en travail mécanique se fait par l'intermédiaire

d'une variation de tension superficielle. Les molécules situées à la surface d'un liquide sont attirées vers le centre de la masse par la cohésion, il en résulte une sorte de pression normale à la surface, et mécaniquement équivalente à une rétraction élastique qui tendrait toujours à diminuer la surface, et que l'on désigne par l'expression de tension superficielle. La surface d'un liquide tendant ainsi toujours à diminuer, une masse donnée de liquide, libre de toute autre influence, prend, sous l'influence de la tension superficielle, la forme sous laquelle elle a le minimum de surface, la forme sphérique. Si, par traction mécanique la sphère est allongée en fibre, elle tend toujours à se raccourcir, et si la tension superficielle augmente assez pour vaincre la tension mécanique, la fibre liquide prend la forme sphérique, elle se contracte comme une fibre musculaire ; or, la tension superficielle est variable avec la composition chimique du liquide, toute modification chimique dans la masse du liquide fait varier sa tension superficielle.

M. le Professeur Wilhelm Ostwald a introduit une notion nouvelle précieuse pour l'étude de cette question, la notion d'énergie de surface : une surface représente une quantité d'énergie égale au produit de son étendue par la tension superficielle, de sorte que toute variation de cette surface ou de cette tension correspond à une variation d'énergie facile à calculer.

Ces notions nouvelles constituent une direction précieuse pour l'étude expérimentale de la physiologie musculaire, puisqu'elles nous révèlent par quel mécanisme physique les transformations énergétiques musculaires peuvent s'accomplir.

Quel que soit le mécanisme de la transformation, la machine animale présente à considérer les mêmes grandeurs que les autres machines motrices, savoir : 1° le rendement ; 2° la force ; 3° la puissance ; 4° la quantité

d'énergie cédée au milieu ambiant sous forme de chaleur, grandeur dont l'étude est l'objet de la calorimétrie animale ; 5° la température dont l'étude est l'objet de la thermométrie.

La diminution de la puissance et de la force exprime et caractérise la fatigue.

Les muscles, organes transformateurs qui changent l'énergie chimique en énergie mécanique, peuvent se présenter sous quatre états : 1° à l'état de repos ; 2° à l'état de tension, comme lorsque nous soutenons un poids à bras tendu ; le muscle alors ne produit aucun travail, mais il produit de la force ou énergie potentielle ; cette production d'énergie potentielle consomme de l'énergie qui se manifeste alors entièrement sous forme de chaleur, exactement comme pour conserver sous pression la vapeur dans une chaudière, ou comme une dynamo traversée par un courant, mais qu'un obstacle empêche de tourner. Cette production d'énergie potentielle cause de la fatigue, il es impossible de maintenir un quart d'heure le bras tendu horizontal ment alors même qu'il ne supporte que son propre poids ; 3° Les muscles se présentent en état de travail positif, comme lorsqu'on élève un poids, les muscles alors accomplissent un certain travail extérieur ; 4° Les muscles se présentent en état de travail négatif, lorsqu'ils soutiennent un poids dans sa descente, de façon à le faire arriver au terme de sa course avec une vitesse nulle ; les muscles alors reçoivent l'énergie cédée par le poids, et cette énergie doit se manifester sous forme de chaleur, ainsi que tendent à le démontrer les expériences de Hirn sur la calorimétrie, et de J. Béclard sur la thermométrie musculaire. La moyenne des résultats obtenus sur l'homme par Hirn donne, par heure, un dégagement de 149 calories 61 au repos, 247 calories 70 pendant un travail positif, et 286 calories 90 pendant un travail négatif. Les mesures thermométriques de J. Béclard montrent

que la température d'un muscle s'élève toutes les fois qu'il se contracte ; l'élévation est maximum pour un travail négatif, minimum pour un travail positif, intermédiaire pour l'état de tension.

Il importe beaucoup en médecine de distinguer les différentes formes de l'activité musculaire, il y a une grande différence physiologique entre la contraction musculaire avec accomplissement de travail extérieur, et la contraction sans accomplissement de travail ou avec travail négatif. Monter un escalier est contracter ses muscles avec accomplissement d'un travail égal au produit du poids du corps par la hauteur de l'escalier ; descendre ce même escalier c'est accomplir les mêmes contractions musculaires avec travail négatif ; marcher sur un terrain horizontal c'est contracter ses muscles pour un travail presque nul comme une machine qui tourne à vide, sans résistance.

La condition de tout phénomène est une chute de potentiel, et un courant d'énergie, chacune de nos sensations correspond donc à un courant d'énergie ; lorsque nous touchons un corps chaud, le courant d'énergie a lieu du corps chaud vers les nerfs, lorsque nous touchons un corps froid le courant a lieu des nerfs vers le corps froid.

On a donné comme caractéristique de la vie la disproportion entre les excitations et les réponses qu'elles provoquent, cette opinion vient de ce que jusqu'ici la physiologie, au moins implicitement, considérant les phénomènes de la vie, sinon comme surnaturels, du moins comme tout à fait différents des autres phénomènes de la nature, ne s'est pas suffisamment occupé de rechercher dans quelle mesure ils obéissent aux lois de la physique générale. Or, la disproportion entre les excitations et les réponses est conforme aux lois de la transformation de l'énergie. L'énergie des êtres vivants est potentielle, c'est un fait que, jusqu'à présent, la physiologie n'a pas

remarqué ; pour les actes réflexes le fait est évident, parceque la réponse à l'excitation est immédiate, et toujours la même pour une même excitation. L'excitation du réflexe c'est l'intervention de l'énergie étrangère excitatrice du dégagement d'énergie qui constitue la réponse.

Avant la découverte de l'énergie et de ses lois, le fait que nous énonçons avait été entrevu et formulé par Jean Lamarck qui, dans sa philosophie zoologique, écrit : « Que serait la vie végétale sans les excitations extérieures, que serait de même la vie des animaux les plus imparfaits sans cette cause ? » Dans un autre passage, recherchant la puissance capable d'exciter les actions, Lamarck fait observer que : « les animaux très imparfaits, qui manquent de système nerveux, ne vivent qu'à l'aide des excitations qu'ils reçoivent de l'extérieur. Cette puissance excitatrice empruntée d'abord au milieu environnant est, à mesure que l'organisme se compose, transportée dans l'intérieur des êtres, et mise à la disposition des individus ».

Par sa remarque que les mouvements des êtres vivants sont non pas communiqués, mais bien excités, c'est-à-dire que les excitations, d'origine externe, provoquent chez les êtres vivants le dégagement de réactions compliquées dont l'énergie se trouvait en eux à l'état latent ou potentiel, Lamarck a pénétré, dans la compréhension de l'énergétique biologique, plus loin que la physiologie moderne, car c'est en vain que l'on cherche dans les traités de physiologie la notion de la potentialité de l'énergie des êtres vivants, et l'attribution du rôle physique d'énergie excitatrice aux énergies de source externe provocatrices des sensations.

Le cas du réflexe semble bien devoir s'étendre à tous les autres cas, toutes les actions des êtres vivants ont des motifs, et ces motifs représentent les énergies excitatrices

d'origine extérieure actuelles ou antérieures. La complication provient de ce que les impressions antérieures nous donnent la faculté de retenir, de différer, de régler les réponses, de telle sorte qu'une même excitation peut déterminer des réponses très diverses suivant l'état produit par les impressions antérieures. Lorsque nous examinons nos actions, aucune ne paraît autonome, elles sont toutes déterminées par des impressions venues de l'extérieur. D'ailleurs des actions sans motif, c'est-à-dire sans cause déterminante d'origine externe ne pourrait être que des actions sans raison. Il semble donc bien que l'on peut formuler comme un principe général de physiologie l'énoncé suivant : l'énergie de tous les êtres vivants est potentielle, les sensations représentent l'intervention de l'énergie excitatrice de source extérieure qui provoque le dégagement de l'énergie potentielle de l'être vivant, et détermine sa transformation en énergie actuelle par laquelle se manifestent les réponses qui constituent l'activité de l'être vivant.

CHAPITRE X

La biologie synthétique

Toutes les sciences naturelles suivent une évolution analogue, elles débutent par l'observation et la classification des objets et des phénomènes, puis elles décomposent ceux-ci pour déterminer le mécanisme physique de leur production, elles deviennent alors analytiques ; lorsque le mécanisme d'un phénomène est connu, il devient possible, en dirigeant les forces physiques, de reproduire ce phénomène ; la science est devenue synthétique.

La biologie moderne admet que les phénomènes de la vie sont d'ordre physico-chimique. Si nous ne sommes pas arrivés à préciser la nature et l'action de toutes les forces physico-chimiques intervenant dans tous les phénomènes de la vie, toutes les fois que l'on a découvert la nature et le mode d'action d'une force, c'était une force physique agissant suivant les lois de la nature non vivante. Les résultats des recherches faites jusqu'à présent doivent donc conduire à admettre que la vie est produite par les mêmes forces et soumise aux mêmes lois qui régissent le monde non vivant.

La biologie doit évoluer comme les autres sciences naturelles et être successivement descriptive, analytique et synthétique. De même que la chimie synthétique n'a pas débuté par la synthèse des produits organiques les plus complexes, la biologie synthétique ne saurait débuter par la fabrication d'êtres vivants semblables aux êtres

vivants actuels, en ayant tous les attributs et toutes les qualités. Toute œuvre est progressive et évolutive ; le temps est un facteur indispensable à tout phénomène, la biologie synthétique ne saurait se développer autrement que les autres sciences, elle ne peut avancer dans la voie de la synthèse que progressivement, en procédant du simple au composé, elle doit s'appliquer à reproduire séparément les phénomènes élémentaires de la vie, puis chercher à les réunir, à les associer, à en observer l'évolution sous des influences diverses.

La synthèse de la vie ne saurait être la découverte sensationnelle qu'évoque cette expression. Si l'évolution s'est accomplie comme on le conçoit actuellement, la synthèse de la vie ne peut débuter que par des productions intermédiaires entre le règne minéral et les êtres vivants, n'ayant que quelques attributs rudimentaires de la vie, auxquels laborieusement, peu à peu on viendra en ajouter d'autres par des actions qui, pour ainsi dire, feront évoluer progressivement les premières productions de la biologie synthétique.

Le génie pénétrant de Lamarck avait bien compris que la méthode pour arriver à connaître la vie devait être de comparer les productions et phénomènes inorganiques et organiques, d'établir avec exactitude les analogies et les différences, il écrit : « Si l'on veut parvenir à connaître réellement ce qui constitue la vie, en quoi elle consiste, quelles sont les causes et les lois qui donnent lieu à cet admirable phénomène de la nature, et comment la vie peut être la source de cette multitude de phénomènes étonnants que les corps vivants nous présentent, il faut, avant tout, considérer très attentivement les différences qui existent entre les corps inorganiques et les corps vivants ; et pour cela, il faut mettre en parallèle les caractères essentiels de ces deux sortes de corps ».

La chimie organique synthétique appartient à la biolo-

gie synthétique, c'est la synthèse de la substance des êtres vivants ; la biologie synthétique comprend en outre la synthèse des formes et des structures, morphogénie ou synthèse d'organisation ; et la synthèse des fonctions ou physiogénie. La chimie organique synthétique est une science admise, constituée, importante par les résultats déjà obtenus. Les deux autres parties de la biologie synthétique n'existent pas en tant que sciences, elles ne sont pas admises, pas constituées. On ne voit pas pourquoi elles seraient moins admissibles, moins légitimes, moins importantes que la chimie synthétique.

Si la morphogénie et la physiogénie n'existent pas à l'état de sciences constituées, il existe cependant de nombreux travaux de morphogénie et de physiogénie dus à des novateurs, à des pionniers, à des chercheurs indépendants ne craignant pas d'abandonner les voies de la science officielle pour s'engager dans des directions nouvelles et inexplorées.

La première expérience de physiogénie fut celle par laquelle l'abbé Nollet découvrit l'osmose, vers 1748. Il enferma de l'alcool dans une vessie de porc, plongea cette vessie dans l'eau, la vit augmenter de volume et se distendre, augmentant en même temps de poids, l'eau pénétrant bien plus rapidement dans la vessie que l'alcool n'en pouvait sortir. Cette expérience est le premier pas dans la synthèse physique de la nutrition et de l'accroissement.

Vers 1866, Moritz Traube de Breslau, découvrit les propriétés osmotiques de certains précipités chimiques, et comme je l'écrivais dans la *Revue Scientifique*, 3 mars 1906, il fit la première cellule artificielle ; il étudia surtout les propriétés osmotiques des membranes et leur mode d'accroissement. Les remarquables expériences de Traube auraient dû faire entrer dans la voie de la biologie synthétique, elles provoquèrent de nombreuses objections et tombèrent dans l'oubli. « Il est des gens, dit M. Traube,

aveugles à tout progrès qui, en présence d'un progrès, ne pensent qu'aux objections à lui opposer. » Les travaux de M. Traube ont été réunis par ses fils en un volume : *Gesammelte Abbhandlungen* von Moritz Traube ; Berlin, Mayer und Muller, 1899.

En 1871 parut un mémoire du savant Hollandais Harting intitulé : « Recherche de Morphologie synthétique sur la production artificielle de quelques formations calcaires organiques. » Ce mémoire, dit M. Raphaël Dubois, avait coûté à Harting plus de trente années de travail. « La morphologie synthétique n'en est encore qu'à ses premiers pas, dit Harting ; flattons-nous de l'espoir que, après un nombre d'années égales à celui qui s'est écoulé depuis la production artificielle de l'urée jusqu'à nos jours, elle aura fait autant de progrès que son aînée, la chimie synthétique ».

Dans les comptes rendus de 1882 se trouve la note suivante de MM. D. Monnier et Karl Vogt :

« 1. Des éléments figurés, présentant tous les caractères de forme appartenant aux éléments organiques, tels que cellules simples et à canaux poriques, des tubes à parois, à cloisons, à contenu hétérogène granulé, etc., peuvent être produits artificiellement dans un liquide approprié par le concours de deux sels, formant, par double décomposition, soit deux, soit un seul sel insoluble. L'un de ces sels doit être dissous dans le liquide, tandis que l'autre doit être sous forme solide.

2. Les formes d'éléments organiques (cellules, tubes), se produisent tout aussi bien dans un liquide de provenance organique ou semi organique, sucrate de chaux, que dans un liquide absolument inorganique (silicate de soude), il ne peut plus dorénavant être question de formes distinctives caractérisant les corps inorganiques d'un côté, les corps organiques de l'autre.

3. La forme d'éléments figurés pseudo-organiques, dé-

pend de la nature, de la constitution visqueuse et de la concentration des liquides, dans lesquels elle doit se produire. Certains liquides visqueux, solution de gomme arabique, de chlorure de zinc n'en donnent point.

4. La forme des produits pseudo-organiques est constante par rapport aux sels cristallisés et aussi constante que toute forme cristalline des minéraux. Cette forme caractéristique se maintient si bien, qu'elle peut servir même à reconnaître, dans des mélanges, une proportion tout à fait minime d'une substance. On peut employer cette forme comme moyen d'analyse aussi sensible que l'analyse spectrale et différencier, par exemple, les carbonates, sesquicarbonates et bicarbonates alcalins les uns des autres.

5. La forme des éléments pseudo-organiques artificiels dépend principalement de l'acide qui entre dans la composition du sel solide. Les sulfates et les phosphates, dans certains cas, engendrent dans la règle des tubes, tandis que les carbonates produisent des cellules.

6. A part quelques exceptions, telles que les sulfates de cuivre, de cadmium, de zinc, de nickel, des formes pseudo-organiques ne sont engendrées que par le concours de substances que l'on trouve dans les organismes réels. C'est ainsi que le sucrate de chaux engendre des formes organiques, tandis que les sucrates de strontiane et de baryte n'en forment point.

7. Les éléments artificiels pseudo-organiques sont entourés de véritables membranes, dialysantes au plus haut degré ne laissant passer que des liquides. Ils montrent un contenu hétérogène et produisent dans leur intérieur des granulations disposées dans un ordre déterminé. Ils sont donc, sous le rapport de leur constitution, comme sous celui de leur forme, absolument semblables aux éléments figurés dont sont construits les organismes.

8. Il est probable que les éléments inorganiques, contenus

dans le protoplasme organique, jouent un certain rôle dans la constitution des éléments organiques figurés pour la détermination des formes que ces éléments présentent.

En 1902, M. le Professeur Quinke, de Heidelberg, qui a consacré sa vie avec tant de distinction à la physique des liquides, a publié dans les *Annalen der Physik*, sous le titre : « Ueber unsichbare Flüssigkeitschichten, etc., l'historique suivant sur l'organogénie des liquides :

« Gustave Rose, en 1837, en précipitant du chlorure de calcium par du carbonate d'ammonium ou des carbonates alcalins, obtient de petites sphères qui grossissent et se transforment en rhomboèdresa calciques. Il produit aussi un précipité floconneux qui plus tard devient granuleux et, sous le microscope montre, outre des rhomboèdres, des formes comme des étoiles de mer et des disques à bords ondulés. Rose trouva dans quelques stalactites de Freiberg, six cellules pyramidales groupées autour d'un noyau rond. »

« En 1839, par la précipitation de solutions calciques ou plombiques, au moyen de potasse, de soude ou d'acide carbonique, Link observe la formation de granulations rondes, qui se réunissent et plus tard forment des cristaux. Le sulfate de fer, le sulfate de zinc avec l'ammoniaque, le sulfate de cuivre avec l'hydrogène sulfuré, les solutions salines précipitées par les solutions de ferrocyanure de potassium, donnent des disques avec des granulations ou des disques dont l'origine granuleuse est facile à reconnaître. »

« Runge est bien le premier qui ait décrit, en 1855, la formation périodique des précipités chimiques. Dans les pores de papier à filtrer, il fait se rencontrer avec et agir sur des solutions de ferrocyanure de potassium, des solutions de sulfate de cuivre, de fer, de manganèse, de zinc ou de chlorure ferrique. Les précipités colorés se montrent les uns près des autres, à différents endroits du papier, et

disparaissent plusieurs fois à des intervalles plus ou moins longs. Les dessins formés par des précipités colorés changent avec la concentration des solutions salines, et par l'addition de sels d'ammonium, de potassium, d'acide oxalique, ou d'autres substances. Dans la formation de ces figures, dont des exemplaires nombreux et d'une grande beauté sont ajoutés à l'ouvrage, le papier intervient nécessairement par la capillarité de ses filaments. Runge admet en outre l'intervention d'une autre force, jusque là inconnue et qu'il appelle « Bildungstrieb » ; impulsion formatrice ; il la considère comme une représentation élémentaire de la force vitale en action chez les plantes et les animaux. »

« De la tension superficielle du précipité huileux liquide dépendent, comme je le montrerai plus loin, les formes arborescentes et ramifiées des végétations métalliques que Rud Böttger obtint en 1865 avec des fragments gros comme des pois de cristaux de chlorure ferreux, de chlorure ferrique, de chlorure de cobalt, de sulfate de manganèse, de nitrate et de chlorure de cuivre dans des solutions aqueuses de silicate de sodium de poids spécifique 1,180, sans donner aucune explication du phénomène. »

« Les formes cellulaires obtenues par M. Traube, en 1866, avec de la gélatine et du tannin ; de l'acétate de cuivre ou de plomb, du nitrate de mercure, dans des solutions aqueuses de ferrocyanure de potassium, dépendent également de la tension superficielle. »

« Ces cellules et ces membranes précipitées ont été étudiées par J. Reinke, Ferd Cohn, moi-même et H. de Vries, qui observèrent la régression et la transformation à l'état friable des membranes à l'égard des substances membranogènes. »

« Ainsi se trouvent réfutées les opinions de Traube relatives à l'existence de membranes précipitées, consistant en mailles de substance solide, dont les petits orifices ne laissent pas passer les substances membranogènes, tandis

que les orifices plus grands qui laissent passer les membranogènes, se trouvent fermés par le précipité, et les membranes s'accroîtraient ainsi par intussusception. »

D'ailleurs, M. Traube lui même a plus tard considéré la membrane précipitée comme une couche gélatineuse mince solide, dans laquelle l'eau était mécaniquement enfermée. »

« Tamman a fait également un très grand nombre d'expériences avec des solutions de chlorure et de sulfate de métaux lourds, et des solutions de phosphates, de silicates, de ferrocyanures ou d'autres sels, et il a trouvé la plupart des membranes perméables pour les membranogènes. D'après Tamman, toutes les membranes précipitées sont faites de substances hydratées, et certaines d'entre elles, comme le ferrocyanure de cuivre et le tannate de gélatine sont, immédiatement après leur formation, et dans toutes leurs propriétés, comparables à des membranes liquides. »

« Graham avait déjà obtenu des gelées incolores en réunissant des solutions concentrées de ferrocyanure de potassium et de sulfate de cuivre. Bütschli a décrit récemment les aspects microscopiques des membranes précipitées produites par le ferrocyanure de potassium et l'acétate et le chlorure ferrique. »

« Famintzin, comme Link et Gustave Rose, a obtenu par l'action réciproque de solutions concentrées de chlorure de calcium et de carbonate de potassium des précipités sphéroïdaux qui grossissaient rapidement et brusquement et montraient un noyau sphérique ou en forme de biscuit, et des couches concentriques ; ces expérimentateurs obtenaient, entre autres, des formes de sphérocristaux et de grains d'amidon. »

« Harting, Vogelsang, Hansen, Bütsehli ont étudié les structures qui naissent de l'action réciproque de solutions aqueuses de chlorure de calcium et de carbonates

alcalins. D'après Vogelsang, les petits corps calcaires persistent dans les formes qui résultent de la condensation du précipité amorphe et globuloïde provenant de l'action réciproque des solutions de chlorure de calcium et de carbonate d'ammonium. Il décrit des sphères réunies les unes aux autres, des vésicules et des structures muriformes. Le nombre des sphéroïdes serait plus grand lorsqu'on ajoute de la gélatine. Hemsen a également étudié, d'après la méthode de Harting, la formation des sphérocristaux par l'action des carbonates et phosphates alcalins sur les sels de calcium en présence de la gélatine et de l'albumine, il considère ces milieux retardant la cristallisation comme utiles à la formation des sphérocristaux.

« Je montrerai plus loin que la gélatine et l'albumine modifient essentiellement les précipités et n'agissent pas seulement par leur présence comme substances gélatineuses. Que des sphérocristaux puissent naître de l'action du chlorure de calcium et du carbonate de potassium, sans la présence de gélatine ou d'albumine, est démontré par les recherches de Famintzin répétées et étendues par Bütschli qui étudia les sphérites de carbonate de chaux à la lumière polarisée et qui y trouva des couches alternativement positives et négatives au point de vue optique. »

Telle est, *in extenso*, exposé par le contemporain le plus qualifié pour accomplir cette tâche, M. le Prof. Quinke, de Heidelberg, l'histoire de la morphogénie en 1902.

En 1904, M. le Prof. Moritz Benedikt, de Vienne, traite de l'ensemble de la question dans son livre « Krystallisation und Morphogenesis », dont une traduction française a paru à la librairie Maloine. Ce livre est rempli d'aperçus originaux et suggestifs, il expose les travaux de Harting et surtout ceux de Von Schroën qui prétend que les cristaux débutent comme les êtres vivants par une cellule et s'accroissent par intussusception. M. le Prof. Benedikt a d'ailleurs résumé la question dans un article : « Les origines

des formes et de la vie », paru dans la *Revue Scientifique*, le 30 septembre 1905.

En 1904, M. le Professeur Raphael Dubois, de Lyon, présente à la Société de Biologie ses intéressantes expériences sur la cytogenèse minérale et, la même année, il consacre le discours de rentrée de l'Université de Lyon à « la création de l'être vivant » ; ce discours, paru en brochure à la librairie A. Storck, à Lyon, est un exposé très attachant de la question, dans lequel le professeur de physiologie de Lyon montre, en même temps que son savoir et ses aptitudes littéraires, un esprit ouvert à tous les progrès.

L'un des morphogénistes les plus actifs est le Prof. Herrera, de Mexico, dont les travaux se trouvent exposés dans l'atlas de plasmogénie de M. le Dr Jules Félix, de Bruxelles, un des disciples les plus enthousiastes et les plus vaillants de la science nouvelle. Les travaux de M. Herrera se trouvent également résumés dans le mémoire : « Sur la vie apparente de corpuscules obtenus par évaporation de solutions de silice et de carbonate de calcium dans de l'eau saturée d'acide carbonique. » *Mem. Soc. Alzate, Mexico.*

On trouve une bibliographie assez étendue d'ouvrages se rapportant au sujet dans le livre de M. le Prof. Rhumbler de Göttingue : *Aus dem Luckengebiete Zwischen Organimischer und anorgaminischer Materie*, 1906.

En 1907, M. le docteur Luiz Razetti, de Caracas, a publié une magnifique étude de la question sous le titre : « Que es la vida. »

En 1907, M. le Dr Martin Kuckuck, de Saint-Pétersbourg, a repris en les étendant, les expériences de M. Raphaël Dubois et a publié ses résultats sous le titre : « Die Lösung der Problems der Urzeugung » (*Archigonia, Generatio spontanea*). Leipzig, Ambrosius Barth.

M. Buttler Burke, de Crambridge, avait également fait,

avec le radium, des expériences analogues à celles de M. Raphaël Dubois.

En 1909, MM. Albert et Alexandre Mary, de Beauvais, sous le titre : « Etudes expérimentales sur la génération primitive », ont publié, chez J. Rousset, une intéressante étude de la question et les résultats de leurs recherches personnelles.

Je mentionnerai aussi parmi les ouvrages de biologie synthétique les publications de M. le Prof. Otto Lehmann, de Karlsruhe et en particulier : « Flüssige Kristalle und die Theorien des Lebens. » Leipzig, Ambrosius Barth.

M. le Professeur Uhlenhuth, de l'Institut d'Hygiène de Berlin, a publié chez Julius Springer (Untersuchungen ueber Antiformin, 1909), « Ses études sur la croissance osmotique du fer dans les hypochlorites alcalins alcalinisés. »

M. le Professeur Gariel a fait, sur la croissance osmotique, des recherches exposées dans le recueil d'expériences de physique de M. Abraham.

A. Lecha Marzo, de Valladolid, a publié dans la *Gaceta Medica Catalana*, 15 octobre 1909, « Otra nueva flora artificiale », ses recherches sur la croissance des couleurs d'aniline.

M. le Dr Maurice d'Halluin, de Lille, a publié une étude de la croissance osmotique sous le titre : *Stephane Leduc a-t-il créé la vie?*

Les sujets des nombreux mémoires que j'ai moi-même publié depuis dix ans sur cette question, sont traités de nouveau dans cet ouvrage. Un résumé de mes recherches sur la croissance osmotique a paru dans le numéro de septembre 1909 des *Documents du progrès.*

La morphogénie synthétique a donc déjà recueilli l'attention d'un certain nombre de chercheurs, elle a des résultats, elle a ses méthodes ; la physiogénie se développe parallèlement puisque les fonctions sont les résultantes des formes ; la voie est ouverte, il ne faut que du travail pour recueillir une abondante moisson.

CHAPITRE XI

La croissance osmotique
Etude de morphogenèse

Le phénomène de la croissance osmotique s'est sans doute présenté à tous les chimistes, mais, avoir un phénomène devant les yeux ne constitue pas sa découverte, car cela ne réalise aucun progrès. Bien des gens ont vu le spectre, ne serait-ce que celui de l'arc-en-ciel, avant Newton, bien des gens ont vu l'éclair avant Franklin. Découvrir un phénomène c'est comprendre le mécanisme physique de sa production, son rôle et son importance dans la Nature.

Lorsqu'une substance soluble en solution concentrée est plongée dans un liquide formant avec elle un précipité colloïdal, osmotique, elle s'entoure d'une couche de précipité qui forme une membrane osmotique. Une membrane osmotique n'est pas, comme on le dit, une membrane semi-perméable, c'est-à-dire perméable à l'eau et imperméable aux substances dissoutes ; c'est une membrane qui oppose au passage des différentes substances qui constituent les solutions, eau, substances dissoutes, des résistances diverses ; c'est une membrane inégalement perméable pour les différentes substances, et surtout, perméable à l'eau. Une substance soluble, ainsi entourée d'une membrane osmotique, représente ce que M. Traube a appelé une cellule artificielle. Dans une semblable cellule, les substances dissoutes ont une très

forte pression osmotique, c'est-à-dire une force d'expansion comme la vapeur dans une chaudière ; elles exercent une poussée sur les parois extensibles de la cellule qu'elles gonflent comme le gaz gonfle un ballon, l'eau qui traverse facilement la membrane pénètre à l'intérieur et vient combler le vide que la distension tend à produire, la cellule grossit et sa membrane s'étend.

Un fragment de chlorure de calcium fondu, placé dans une solution saturée de carbonate de potassium, ou de phosphate tri-basique de potassium, produit les plus belles cellules osmotiques. Le chlorure de calcium s'entoure d'une membrane osmotique de carbonate de calcium ou de phosphate tricalcique, cette membrane est d'une belle transparence, et d'une parfaite extensibilité ; c'est une surprise que ce contraste entre la notion que nous avons du carbonate et du phosphate de chaux solide, durs et pierreux, et ces membranes de carbonate et de phosphate de chaux si parfaitement souples, extensibles et transparentes. Les cellules de carbonate et de phosphate de calcium ainsi obtenues se composent de leur membrane transparente, d'un contenu liquide et du noyau solide de chlorure de calcium, et les ont une forme sphérique, ovoïde, ou d'une sphère aplatie, elles peuvent atteindre plusieurs centimètres de diamètre.

Le plus souvent la croissance se fait d'une façon différente, la première cellule donne naissance à une seconde cellule ou vésicule, celle-ci à une troisième et ainsi de suite, donnant un ensemble de cavités cellulaires microscopiques séparées par des cloisons osmotiques, c'est-à-dire à une structure analogue à celles qui constituent les êtres vivants.

Il est facile d'entrevoir une raison physique pour laquelle, dans la plupart des cas, la croissance osmotique donne des colonies de vésicules microscopiques. La substance membranogène émane du noyau solide pour se répartir à toute la membrane, mais celle-ci augmente de surface comme le carré du rayon ; avec un rayon double, chaque unité de

surface de membrane reçoit dans le même temps quatre fois moins de substance membranogène, lorsque le rayon a triplé chaque unité de surface reçoit dans le même temps neuf fois moins de membranogène du noyau ; on conçoit que par insuffisance de membranogène, la membrane ne se forme plus bien et se laisse traverser en un point par le liquide intérieur, tout le courant membranogène se fait alors dans cette direction et le liquide ayant ainsi traversé la membrane s'enveloppe d'une membrane à son tour. C'est dans des raisons physiques de cette sorte qu'il faut chercher pourquoi les êtres vivants sont tous également formés de colonies d'éléments microscopiques. Toutefois un même résultat est souvent produit par des voies diverses.

Les croissances osmotiques s'obtiennent avec un très grand nombre de substances parmi lesquelles nous avons déjà signalé les sels solubles de calcium dans les solutions de phosphates tribasiques ou de carbonates alcalins ; le dispositif inverse : phosphates tribasiques ou carbonates alcalins solides placés dans des solutions de sels de calcium donnent aussi des croissants, mais beaucoup moins belles.

Les silicates ont joué un grand rôle dans la constitution des coquilles et du squelette des animaux marins. Dans les solutions des silicates alcalins, la plupart des sels métalliques solides et en particulier les sels solubles de de calcium donnent lieu au phénomène de la croissance osmotique ; on peut avec des solutions de silicates alcalins de concentrations variables, additionnées en diverses proportions d'autres sels alcalins, obtenir avec les sels solubles de calcium, une immense variété de croissances osmotiques. Une solution composée de :

Silicate de potassium à 33°	60 gr.
Solution saturée de carbonate de sodium	60 gr.
Solution saturée de phosphate bibasique de sodium	30 gr.
Eau distillée	pour faire un litre

conviendra très bien pour commencer l'étude de la croissance osmotique, des fragments de chlorure de calcium fondu y donneront rapidement des croissances élancées pouvant atteindre jusqu'à vingt à trente centimètres de hauteur.

Avec des granules formées d'une partie de sucre et de deux parties de sulfate de cuivre on peut obtenir des croissances pouvant atteindre jusqu'à quarante centimètres de hauteur dans le liquide suivant à une température de 30 à 40 degrés centigrades ; 100 parties d'eau, dix à vingt parties d'une solution de gélatine à 10 p. 100, 5 à 10 pour 100 d'une solution saturée de ferrocyanure de potassium, 5 à 10 p. 100 d'une solution saturée de chlorure de sodium : la solution de gélatine ne doit être versée que dans un liquide chaud. Les croissances obtenues avec cette solution présente des formes analogues à celles observées chez les végétaux ; rhizomes, racines, tiges ramifiées arborescentes, feuilles et organes terminaux. Par suite de la solidification de la gélatine, ces croissances sont stables et transportables. Les membranes osmotiques précipitées sont d'ailleurs très répandues dans la nature ; M. le professeur Ulenhuth a vu pousser du fer dans de l'eau de Javelle alcalinisée ; M. Lecha-Marzo, de Valladolid, a

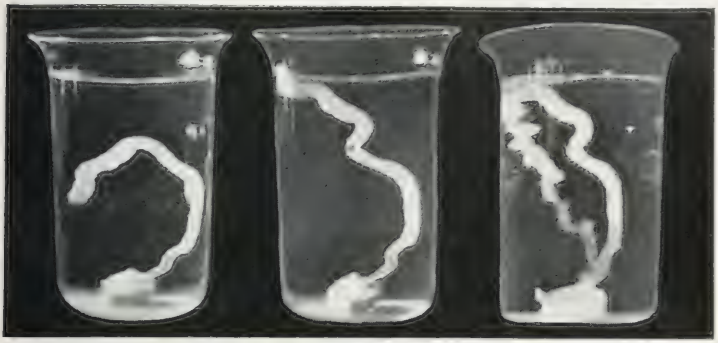
Fig. 32.

Fig. 33.

Croissances osmotiques de ferrocyanure de cuivre.

vu pousser les couleurs employées en micrographie dans es liquides servant à fixer les préparations.

La force physique qui produit la croissance, c'est la pression osmotique. L'observation la plus élémentaire dé-



1 2 3

Fig. 34. — Croissance vermiforme ayant poussé en arc 1, s'étant brisée 2, après avoir cicatrisé sa blessure la croissance pousse vers le bas 3.

montre l'inanité de l'opinion considérant le phénomène comme dû au soulèvement de traînées de précipités amorphes par le dégagement de bulles de gaz, ou bien comme déterminé par des différences de densité, toutes ces circonstances ne sont que des influences accessoires. Parmi les nombreuses observations qui écartent ces opinions et établissent l'influence causale de la pression osmotique sont les suivantes : Dans un vase on met une solution concentrée de carbonate de potassium additionnée de deux à 4 pour cent d'une solution saturée de phosphate tribasique de potassium ; au fond on place un fragment de chlorure de calcium fondu ; de ce fragment émane une croissance vermiforme de trois à six millimètres de diamètre, cette croissance se fait vers le haut, après un certain parcours elle s'incurve et se fait horizontalement, puis le sommet s'incurvant de nouveau, elle se fait verticalement vers le bas, cependant la préparation de poids

spécifique moindre que le liquide éprouve, de la part de celui-ci une poussée verticale vers le haut, sous l'influence de cette poussée, la croissance se brise à sa courbure et est redressée par la différence des densités, elle cicatrice sa blessure, et recommence à croître mais, obstinément vers le bas, en sens inverse de la poussée hydrostatique ; en raison de l'obstacle que lui oppose celle-ci la croissance se fait avec des sinuosités, elle avance contre la pression hydrostatique par bordées, comme un bateau contre le vent. La croissance que nous décrivons et dont nous donnons trois photographies à trois périodes de son évolution a continué à croître et à dépasser vingt-cinq centimètres de longueur. Souvent, ces croissances vermiformes montent en boucles successives, montant, descendant, puis remontant plusieurs fois consécutives.

L'observation suivante fait également ressortir le rôle prépondérant, l'influence causale de la pression osmotique sur la croissance. Dans une boîte de Petri on met un fragment de chlorure de calcium fondu, on met ensuite du liquide de façon à juste recouvrir le fragment de chlorure de calcium. Ce liquide doit être composé de 76 parties d'une solution saturée de carbonate de potassium, 4 parties d'une solution saturée de phosphate tribasique de potassium, 20 parties d'une solution saturée de sulfate de sodium. Le chlorure de calcium s'entoure d'une membrane osmotique, l'eau pénètre à l'intérieur de la cellule ainsi formée qui grossit sous forme d'une belle cellule sphérique transparente, mais comme il n'y a au-dessus d'elle qu'un très mince couche du liquide, son sommet émerge, elle sort de l'eau, dans laquelle elle se nourrit par sa base, et pousse dans l'air jusqu'à un ou deux centimètres de hauteur. Inutile d'insister pour montrer que seule la pression osmotique peut produire ce résultat.

Cette production osmotique, moitié aquatique, moitié aérienne, absorbant par sa base de l'eau et des sels, évapo-

rant cette eau et ses parties volatiles par son sommet, par lequel en même temps elle absorbe et dissout les gaz de l'atmosphère, représente une des productions expérimentales les plus intéressantes à étudier pour la biologie synthétique. Il est bien évident que, dans ces expériences la pression osmotique est la force physique qui détermine la croissance de ces cellules dans l'eau et dans l'air.

La partie aérienne des croissances osmotiques présentent parfois une évolution spéciale ; son sommet s'entoure d'une couronne opaque, qui grandit et forme une sorte de margelle entourant une cavité dans laquelle s'élève le liquide que la cellule absorbe par sa base, puis cette margelle continue à s'élever et à grandir dans l'air comme la tige d'une plante, et, sans doute par le même mécanisme que l'osmose nous présente ainsi simplifié.

L'expérience précédente donne l'explication physique du curieux phénomène des sels grimpants, dans lequel on voit des solutions salines placées au fond des vases, non seulement s'élever en cloisons solides jusqu'à la partie supérieure, mais encore élever entièrement le liquide jusque dans les cellules supérieures.

La croissance absorbe par osmose dans le milieu dans lequel elle se développe, la substance dont elle se nourrit, qu'elle assimile et organise. En pesant le fragment et le liquide de développement avant l'ensemencement, puis pesant après l'expérience la production osmotique et le liquide, on constate que la production osmotique peut avoir absorbé dans son milieu plusieurs centaines de fois le poids de la substance initiale ; le liquide de développement présente une diminution de poids correspondante,

Avant d'être assimilée, c'est-à-dire avant de participer à l'organisation de la croissance osmotique, la substance absorbée est transformée chimiquement ; par exemple, le chlorure de calcium dans la solution de carbonate de potassium donne lieu à la réaction :

$$CaCl^2 + K^2CO^3 = CaCO^3 + 2KCl$$

La substance absorbée, avant d'être assimilée, est modifiée chimiquement ; le radical CO^3 est transformé en carbonate de calcium qui n'existe pas dans le liquide nutritif. La croissance fait un choix parmi les substances qui lui sont offertes, elle absorbe l'eau, le radical CO^3, et laisse le potassium, enfin elle élimine du chlore, car on en trouve dans le liquide de développement qui n'en contenait pas avant.

De toutes les forces physiques, c'est la pression osmotique et l'osmose qui possèdent la puissance d'organisation la plus remarquable, les facultés morphogéniques les plus étendues. La complète ignorance dans laquelle on est resté jusqu'ici de ces facultés morphogéniques et organisatrices est un motif de surprise. Les formes et les structures que peut donner l'osmose sont extrêmement nombreuses.

Lorsqu'on fait croître des fragments de chlorure de calcium dans la solution de silicate, carbonate et phosphate bibasique alcalins dont nous avons donné la formule, on obtient des croissances filiformes, linéaires, élancées, pouvant acquérir jusqu'à trente à quarante centimètres de hauteur ; ces croissances sont parfois si flexibles que les tiges s'inclinent et se recourbent retombant autour du faisceau comme des feuilles de roseaux.

A mesure que cette même solution est étendue d'eau de façon à être de moins en moins concentrée, la croissance devient moins rectiligne, il se fait des bifurcations, on a des croissances de plus en plus ramifiées, dendritiques, ressemblant à des arbres ou à des coraux.

Lorsque la croissance est déjà avancée, si l'on étend d'une grande quantité d'eau le liquide de développement de façon à ce qu'il ait une concentration plus de cent fois moindre que la concentration initiale, on voit pousser, à l'extrémité des tiges, des organes terminaux sphériques :

Fig. 35. — Croissance résultant de l'ensemencement d'un mélange de chlorure de calcium et de chlorure de manganèse dans la solution silicate, carbonate, phosphate. Les organes terminaux ont une couleur différente de celle des tiges. (Réduite au tiers de la vraie grandeur).

si la croissance n'est pas achevée, elle continue, et les organes terminaux deviennent coniques ou piriformes.

Fig. 36. — Croissance dans un liquide contenant un nitrate et présentant des organes en épines.

En superposant des liquides de concentrations différentes et de densité décroissante, on détermine aux surfaces de séparation, la formation d'organes terminaux ou de nodosités de formes et d'aspects variés.

Lorsque le sommet des tiges atteint la surface du liquide avant l'achèvement de la croissance, celle-ci se continue horizontalement à la surface sous forme d'expansions foliacées ou feuilles de formes et de structures très diverses.

Fig. 37.— Organes terminaux en chatons développés dans une solution contenant du chlorure d'ammonium.

L'influence prépondérante sur la morphogénie osmotique est celle de la pression osmotique, les formes varient avec sa répartition, ses grandeurs, ses modes de mise en jeu, ses modifications; et, quelque soit la nature des substances, les mêmes pressions osmotiques employées ou modifiées de la même manière donnent des formes qui se ressemblent, qui appartiennent pour ainsi dire à la même famille. Cependant la nature chimique des

substances n'est pas sans influences sur les formes obtenues ; c'est ainsi que la présence des nitrates dans le liquide de développement tend à donner des pointes, des productions épineuses ; la présence du chlorure d'ammonium dans la solution de ferrocyanure de potassium donne des productions osmotiques en forme de chaton, la présence dans les liquides de développement des chlorures alcalins tend à donner des croissances vermiformes.

Lorsque la solution silicate carbonate, phosphate biba-

Fig. 38. — Croissance osmotique madréporiforme.

sique est étendue de moitié environ et additionnée de deux à quatre pour cent d'une solution concentrée de sulfate de sodium ou de nitrate de potassium, on obtient de belles croissances madréporiques, coralliformes, formées d'un noyau central d'ou émanent comme les pétales d'une fleur, de larges feuilles. On peut ainsi obtenir une grande variété de production madréporiformes : la présence du nitrate de potassium donne des feuilles pointues, avec des pointes sur leurs bords, et ces productions rappellent les aloès et les agave.

Lorsqu'on fait s'effectuer une croissance dans un liquide très concentré, auquel on a supperposé avec soin de l'eau distillée, on obtient des formes remarquables de champignons ; la ressemblance est si parfaite que plusieurs de nos productions ont été prises pour des champignons véritables par des personnes instruites. Les pieds de ces champignons osmotiques sont formés de faisceaux de fines fibres creuses accolées, la surface supérieure du chapeau est lisse ou couvertes de petites écailles, la face inférieure présente suivant les rayons des traces de lamelles verticales, parfois ces lamelles sont intersectées par des surfaces concentriques parallèles à la surface du chapeau, la face inférieure présente alors comme un ensemble d'orifices de canaux et rappelle la face inférieure des ceps et des bolets.

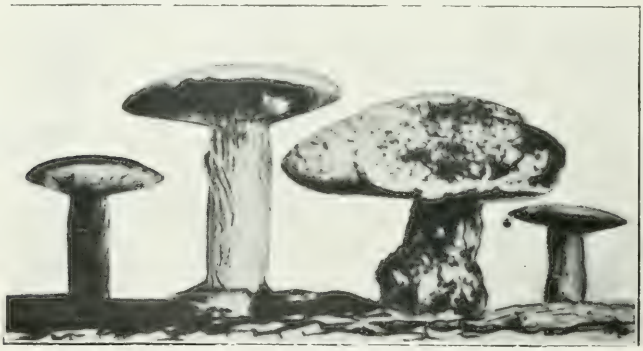


Fig. 39. — Productions osmotiques en formes de champignons

Si la couche de solution très concentrée dans laquelle s'effectue la croissance n'a qu'une faible épaisseur, moins d'un centimètre, si le liquide superposé au lieu d'être de l'eau distillée est une solution étendue, les croissances ont la forme de coquilles, on obtient ainsi une infinie variété de forme de coquilles.

Lorsque la solution superposée, toute en étant étendue, a une certaine concentration, on obtient les capsules. Ces

capsules sont formées de deux parties ou valves réunies

Fig. 40. — Croissances osmotiques en formes de coquilles.

par leur équateur ; une partie inférieure épaisse et résistante, une moitié supérieure, transparente, translucide

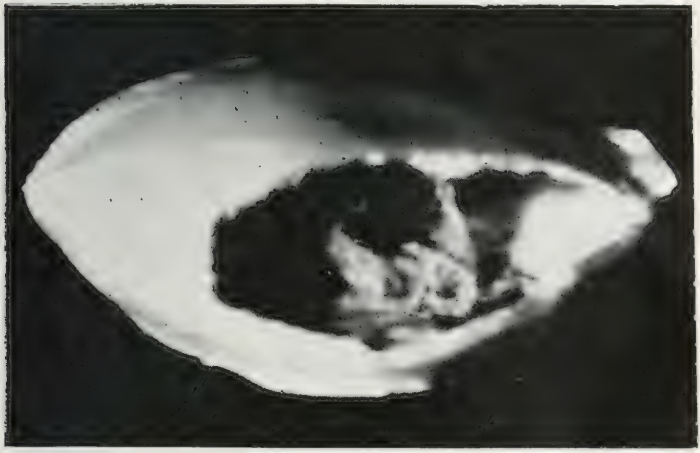


Fig. 41. — Production osmotique en capsule. On a brisé la capsule pour photographier la structure intérieure.

ou opaque, mais toujours plus mince et plus fragile que

la moitié inférieure. Dans les solutions silicatées, le sulfate ferreux donne des croissances verdâtres, herbacées ou grimpante, s'enroulant en spirales autour des croissances calcaires plus grosses et plus solides.

Les croissances obtenues avec les sels de manganèse, chlorure, nitrate, sulfate, marquent les différences d'évolution des parties de la croissance, non seulement par la diversité des formes de ces parties, mais par des modifications de couleur ; c'est ainsi que l'on obtient des organes terminaux noirs ou jaunes dorés, portés par des tiges blanches. On obtient des champignons ayant le pied blanc, la surface du chapeau jaune, la face inférieure noire.

Fig. 42. — Productions osmotiques capsulaires pourvues de ceintures ornementales.

Dans les solutions de carbonate de potassium additionnées de 2 p. 100 de solution saturée de phosphate tribasique de potassium, le chlorure de calcium donne de belles croissances capsulaires pourvues de ceintures ornementales diverses, de traits verticaux régulièrement espacés parallèlement à l'axe longitudinal, ou ceintures de petits grains saillants comme en présentent certains oursins. Ces capsules sont fermées à la partie supérieure par une calotte constituant un opercule, de sorte que ces croissances sont comme formées de deux valves. Parfois la pression

intérieure soulève la valve supérieure, et par l'ouverture

Fig. 43. — Production osmotique amiboïde nageant dans son liquide de développement.

on aperçoit le contenu gélatineux dont l'activité physicochimique a organisé la production, et détermine son évolution.

Parfois les capsules calcaires poussées dans les solutions saturées de carbonate et de phosphate tribasique de potassium prennent une forme ovoïde très régulière, en les laissant s'épaissir, lorsqu'on les retire de l'eau elles présentent l'aspect de véritables oolithes.

Fig. 44. Cellule osmotique transparente dans laquelle on voit le noyau calcaire blanc et dont le sommet porte des prolongements osmotiques.

Les productions osmotiques peuvent être divisées en deux groupes. Les unes, comme les croissances silicatées, sont fixes; comme les végétaux, elles se développent, s'or-

ganisent, grandissent, déclinent et se désagrégent à l'endroit même où l'on a placé la substance initiale. Les autre, en particulier celles qui croissent dans les solutions de carbonates et phosphates tribasiques alcalins, évoluent en deux périodes, une première période de développement fixe, une seconde période d'existence errante. Dans la première période de leur développement elles ont un poids spécifique plus élevé que celui du liquide dans lequel elles se trouvent et elles restent au fond des vases à l'endroit où l'on a placé la substance initiale ; à mesure qu'elles absorbent de l'eau leur poids spécifique diminue et elles s'élèvent peu à peu dans le liquide, elles acquièrent alors une mobilité très grandes et se déplacent sous les plus légères influences, ce qui rend leur photographie très difficile.

Ces productions osmotiques nageantes sont souvent pourvues de prolongements en forme de cils et parfois en forme de nageoires qui s'agitent lorsqu'elles se déplacent. Les prolongements ciliaires peuvent pousser par

Fig. 45. — Croissance osmotique amiboïde nageant dans son liquide de développement et portant de longs cils développés par cristallisation.

croissance osmotique, ils sont alors souvent localisés au sommet sous forme d'une touffe ; ou bien ils semblent se développer sous l'influence de la cristallisation, ils sont alors réparties sur toute la surface. Ces vésicules nageantes

s'accroissent en absorbant de l'eau dans des solutions saturées qui, à leur contact deviennent aussi sursaturées, et ce serait sous l'influence de cette sursaturation que se développeraient ces longs cristaux en forme de prolongements ciliaires.

Lorsque les croissances capsulaires se séparent en deux sous l'influence de la pression intérieure, il arrive que seul l'opercule, la valve supérieure se met à nager, elle se présente alors sous forme d'une cloche transparente dont la base frangée s'agite lorsqu'elle se déplace à la manière des méduses

Fig. 46. — Croissance osmotique capsulaire dont les deux valves séparées laissent voir le contenu colloïdal.

Souvent une même souche donne plusieurs productions osmotiques indépendantes, de la souche s'élève une vésicule, avec à la base un rétrécissement qui va en augmentant jusqu'à ce que la vésicule se détache pour se mettre à nager comme une amiboïde ; le même phénomène s'observe avec les croissances vermiformes, et une même souche donne ainsi toute une série de productions amiboïdes ou vermiformes.

Il importe de remarquer que la partie la plus active, la partie évolutive des productions osmotiques n'est pas l'enveloppe

extérieure, la coquille qui n'est pour ainsi dire qu'un squelette, la partie la plus active c'est le contenu, c'est le liquide intérieur. Lorsqu'avec précaution on brise à un endroit une longue croissance vermiforme dans son liquide de développement et, qu'à l'aide d'un crochet, on soulève doucement le cylindre calcaire, on voit s'en échapper en ondulant, un long cylindre translucide gélatineux, vermiforme, si bien que l'on se demande si la fine membrane colloïdal qui le sépare si nettement du liquide s'est formée si rapidement lors de sa sortie, ou si elle n'était pas préformée à l'intérieur. Lorsque les grosses coquilles capsulaires s'ouvrent, elles expulsent également une partie de leur contenu, ou même le tout en une masse gélatineuse ayant la forme de la cavité. Lorsqu'on dilue brusquement le liquide de développement d'une grosse cellule osmotique en voie d'évolution, celle-ci éclate en un point, et sous forme de déhiscence, lance dans le liquide de développement une partie de son contenu qui devient une vésicule indépendante. Une cellule osmotique peut produire ainsi consécutivement plusieurs vésicules indépendantes.

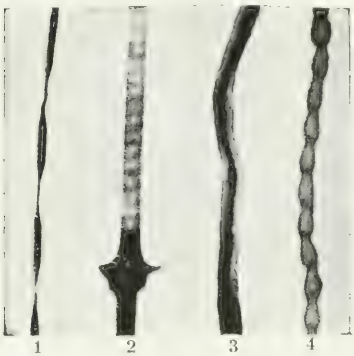


Fig. 47. — Microphotographies montrant la structure de tiges de croissances osmotiques développées dans différents milieux nutritifs : grossissement 25 diamètres.
1 Sulfite de sodium ;
2 Bichromate de potassium ;
3 Sulfure de sodium
4 Bisulfite de sodium.

On peut également régénérer les productions osmotiques, lorsqu'une croissance provenant d'un sel soluble de calcium a achevé son évolution, si on la transporte dans une solution concentrée de chlorure de calcium, elle absorbe ce sel, et reportée dans son milieu de culture elle recommence à croître et à évoluer.

Les structures des productions osmotiques ne sont pas moins variées que les formes. Les tiges son généralement formées de vésicules ou cellules juxtaposées, donnant des tiges formées de cavités séparées par des cloisonnements osmotiques. Parfois ces vésicules juxtaposées ont conservé leur forme et les tiges ont l'apparence d'un chapelet de grains vésiculaires. D'autres fois ces cellules sont aplaties plus ou moins et l'on a des cloisonnements divers très rapprochés ou très espacés. Enfin certaines tiges ont la forme de tubes, de véritables canaux ou vaisseaux dans lesquels le liquide circule rapidement.

Fig. 48. — Photographie d'une feuille osmotique montrant ses nervures.

Les feuilles ou expansions foliacées osmotiques présentent également une organisation et des structures très diversifiées ; nous en avons observées poussées en réseaux et donnant de belles couleurs de diffraction: les feuilles présentent des nervures soit longitudinales, soit étalées en éventail, soit pennées. La structure la plus fréquemment observée est la structure vésiculaire ou cellulaire, la photographie présente un aspect lacunaire, dû à la transparence des parois, mais toutes ces lacunes sont des cavités closes. En

résumé, les croissances osmotiques sont formées par des ensembles de cavités closes de formes variées, contenant des liquides, séparées par des membranes osmotiques et représentant de véritables tissus. Cette constitution offre les plus grandes ressemblances avec celles des êtres vivants.

Est-il possible de penser et d'admettre que les conditions si simples de la croissance osmotique ne se soient pas trouvées réalisées bien des fois dans le passé de la terre? Quelle a été la part de ce phénomène dans son évolution? Quelles traces de son action sont constatables aujourd'hui sur la terre ? La croissance osmotique donne des silicates fibreux magnésiens, calcaires, des phosphates nodulaires, des productions coralliformes, madréporiques, des formations semblables aux attols, productions calcaires sortant de l'eau en couronne. Où est le géologue qui s'est demandé quel rôle pouvait avoir joué les croissances osmotiques dans la formation des roches, des silicates, des roches calcaires, barytiques, magnésienne, des carbonates, des phosphates, des roches fibreuses et nodulaires, des attols etc.? La paléontologie s'appuie sur les formes pour classer ses documents et les considérer comme ayant appartenus au monde vivant; de l'existence d'une coquille elle conclut à

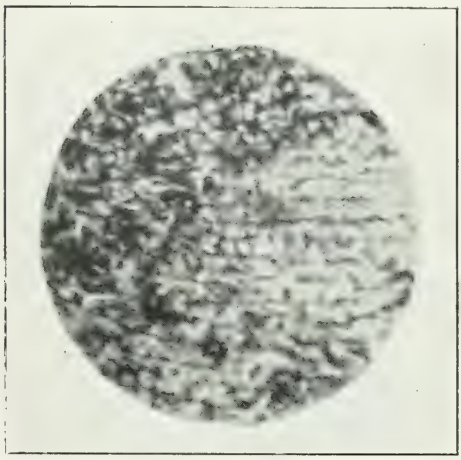


Fig. 49. — Photomicrographie d'une feuille osmotique montrant la structure cellulaire.

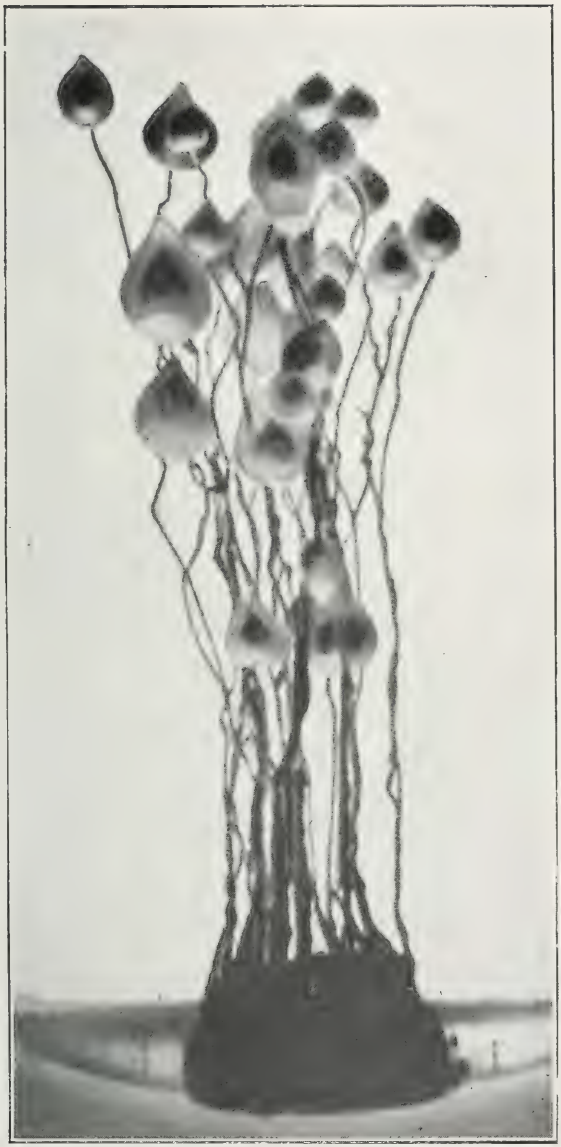


Fig. 50. — Croissance osmotique avec organes terminaux à noyaux, réduite au tiers de la vraie grandeur.

l'existence d'une vie antérieure, mais puisque la croissance osmotique peut développer une forme semblable, il est bien évident qu'une différenciation à laquelle on n'avait jamais songé s'impose, de même pour les formes madrépo-

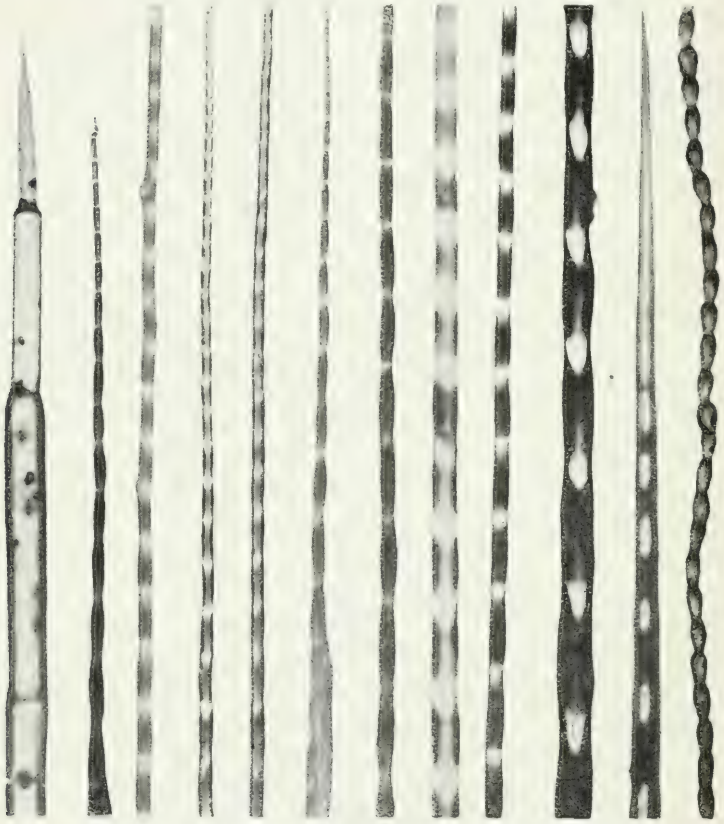


Fig. 51. Microphotographies montrant la structure des tiges osmotiques.

riques ; en présence d'un champignon calcifié ou silicifié, la conclusion à une vie antérieure n'est plus admissible sans la différenciation avec une croissance osmotique.

D'ailleurs, en dehors de toute opinion sur sa signification,

la croissance osmotique mérite l'attention de tout esprit soucieux de connaître la nature. N'est-ce pas un phénomène merveilleux de voir, par le jeu des forces physiques, un fragment informe de sel de calcium pousser régulièrement et s'organiser en forme de coquille, de madrépore de champignon ou de l'une quelconque des formes que donnent nos figures ? En quoi la production des formes par la croissance osmotique peut-elle avoir moins d'intérêt que la production des formes par la cristallisation à laquelle on a accordé tant d'attention et de travaux ?

CHAPITRE XII

Les phénomènes de la vie et les productions osmotiques
Etude de phγsiogenèse

La vie est difficile à définir, non seulement parce qu'elle est complexe, mais parce qu'elle est différente chez les différents êtres vivants ; les phénomènes qui constituent la vie d'un homme ne sont pas ceux qui constituent la vie d'un polype ou d'une plante ; la vie diffère d'un être à l'autre et, chez les êtres les plus simples, elle est tellement réduite que l'on a discuté plusieurs fois pour déterminer si une production appartient au règne animal, végétal, ou minéral. Il est imposible actuellement encore de donner de la vie une définition nette. C'est un contraste curieux que l'affirmation intransigeante d'une séparation entre la vie et les autres phénomènes de la nature, et l'impuissance à définir, à différencier nettement ce qui serait si bien séparé. Cela tient à ce que la vie ne se sépare pas nettement des autres phénomènes de la nature ; il n'y a pas une limite précise où nettement la vie commence et finit, le passage est graduel, insensible. De même que les êtres vivants sont faits des mêmes substances que le monde minéral, la vie est faite des mêmes phénomènes physico-chimiques que nous présente le reste de la nature, de sorte que tous les prétendus attributs de la vie se trouvent en dehors des êtres vivants ; c'est l'association des phénomènes

physico-chimiques, leurs modes de groupement et de succession, leur harmonie qui constituent ce que l'on a appelé la vie.

On ne saurait séparer les êtres vivants des autres productions de la nature par leur composition, car ils sont formés des mêmes éléments que le monde minéral. Les aliments des plantes, l'eau, le carbone du gaz carbonique, l'azote des nitrates, le phosphore des phosphates, le soufre des sulfates, sont, avant leur absorption et leur assimilation par les plantes, considérés comme appartenant au règne minéral; lorsque le carbone et l'eau ont fait du sucre et des corps gras, l'azote le soufre et le phosphore des matières albuminoïdes, toutes ces substances se trouvent appartenir au monde organique; lorsque les animaux et les microbes ont rejeté cette eau,ramené ce carbone à l'état de gaz carbonique; l'azote, le soufre, le phosphore à l'état d'azotates, de sulfates, de phosphates; toutes ces substances sont redevenues minérales. La vie est une forme d'animation de la matière minérales. Toute matière à la vie en soi, à l'état potentiel dans le monde minéral, à l'état actuel dans le monde vivant. La matière passe alternativement et incessamment du règne minéral à l'être vivant, de l'être vivant au règne minéral.

A l'état organique la matière contient de l'énergie potentielle chimique, à l'état minéral elle est dépouillée de cette énergie. Donner à la matière de l'énergie potentielle chimique, séparer un sel en ses radicaux, réduire un oxyde, réaliser des combinaisons endothermiques, c'est faire de la biologie synthétique, car c'est faire faire à la matière le premier pas vers l'état organique, vers l'état vivant. Cette matière peut maintenant dégager de l'énergie, de la chaleur, brûler et réaliser ce que les anciens dans leur prescience avaient considéré comme l'image de la vie.

On a voulu séparer les êtres vivants du monde minéral par la nature des combinaisons chimiques, combinaisons

que l'on a appelé organiques ; on prétendait que la vie seule pouvait réaliser les combinaisons organiques et produire les substances dont les êtres vivants sont formés. Depuis quelque temps on a reproduit par synthèse dans les laboratoires un grand nombre de ces produits dits organiques, et les problèmes de synthèse qui restent à résoudre sont exactement de même ordre, de même nature que ceux déjà résolus.

A mesure que l'on connait mieux le monde vivant et le monde minéral les différences s'effacent, les qualités que l'on considérait comme les plus caractéristiques cessent complètement de l'être. C'est ainsi qu'on a caractérisé l'être vivant par la sensibilité, définie la faculté de réagir aux impressions extérieures, mais la physique nous montre que la réaction est un phénomène absolument général, aussi bien dans le monde non vivant que dans le monde vivant, il n'y a pas une action sans réaction consécutive. La réaction aux impressions intérieures immédiates ou différées ne sauraient caractériser les êtres vivants, et les croissances osmotiques ont à cet égard une sensibilité exquise.

Puisque la faculté de réagir à toutes les excitations est une propriété générale de la matière, qui s'observe chez les minéraux aussi bien que chez les êtres vivants, la vie, chez les êtres les plus inférieurs se trouve réduite à la nutrition, l'accroissement, et la multiplication par division ou par bourgeonnement. Les cristaux aussi se nourrissent et s'accroissent dans leur eau de cristallisation, ils cicatrisent leurs blessures, ils affectent une forme spécifique, et les biologistes ont toujours jusqu'ici, pour établir un parallèle entre les phénomènes du monde vivant et du monde minéral, comparé les êtres vivants aux cristaux. On a fait remarquer que les cristaux avaient des formes régulières, géométriques, des angles saillants, des arêtes rectilignes, alors que les êtres vivants avaient des formes arrondies,

éloignées de la régularité géométrique. Tandis que les êtres vivants se nourrissent par intussusception, c'est-à-dire incorporent et mélangent à toute leur substance la substance 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 se 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 leurs milieu de développement des substances qui sont des déchets de la vie, l'évolution du cristal n'est accompagnée d'aucune élimination. Les êtres vivants se multiplient par des procédés divers, de cette multiplication on a rapproché la provocation de la formation des cristaux dans une solution sursaturée en y projetant de très petits fragments de la substance cristallisée.

Les croissances osmotiques présentent avec les êtres vivants des analogies bien plus nombreuses et bien plus étroites que les cristaux; analogie de formes, de structures, de fonctions. Pour trouver le parallèle de la vie et des êtres vivants parmi les phénomènes et les productions physiques, ce n'est plus la cristallisation et les cristaux qu'il faut choisir, mais l'osmose et les productions osmotiques.

La première et frappante analogie, entre les productions osmotiques et les êtres vivants est dans la forme, les facultés morphogéniques de l'osmose, si complètement méconnues jusqu'ici sont infinies, la plupart des productions osmotiques évoquent à première vue la pensée d'un être vivant, il suffit de jeter un coup d'œil sur les photogra-

phies des productions osmotiques pour reconnaître les formes de coquilles, de madrépores, de champignons, d'algues, de plantes. Une force physique, susceptible d'engendrer tant de formes remarquables, devrait par ce seul fait provoquer l'attention et recueillir l'intérêt...

Une seconde analogie se trouve dans la structure, les productions osmotiques, comme les êtres vivants, sont formés par des groupements de vésicules ou cellules séparées par des membranes osmotiques. La structure des tiges

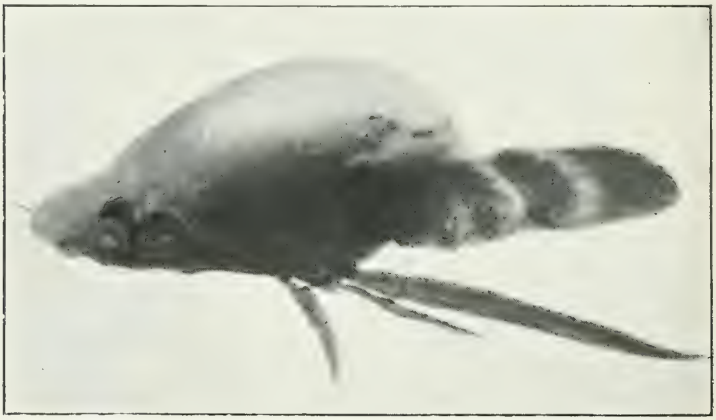


Fig. 52. — Production osmotique nageant dans son liquide de développement. Les prolongements en forme de nageoires sont poussés alors que la préparation était entre deux couches de liquides de concentrations différentes.

osmotiques, formées par des cavités cellulaires placées à la suite les unes des autres, séparées par des membranes osmotiques formant des sortes de nœuds ont la plus grande analogie avec les tiges végétales, tiges de roseaux, de bambous ou d'autres plantes. Les expansions foliacées sont formées de colonies vésiculaires ou cellulaires souvent disposées en lignes régulières ; elles présentent souvent aussi des nervures diversement ordonnées, longitudinales, en éventail ou en barbes de plume. Parfois les croissances lamellaires se font en réseaux, c'est-à-dire en ligne parallèles

alternativement transparentes et obscures. Les organes terminaux avec leurs membranes d'enveloppe, leur contenu pulpeux et leurs noyaux plus dense trouvent aussi leurs analogues dans le règne végétal.

Les analogies de fonctions ne sont pas moins nombreuses et pas moins remarquables que celles de forme et de structure. Nous avons vu que le phénomène le plus élémentaire de la vie, le plus essentiel à la vie car elle n'existe pas sans lui, c'est la nutrition ; consistant en l'absorption dans le milieu de substances alimentaires, la transformation chimique de ces substances, la fixation par intussusception dans toutes les parties de l'être, le rejet dans le milieu des déchets de la réaction. Les croissances osmotiques absorbent dans le milieu les substances dont elles se nourrissent, elles leur font subir une métamorphose chimique avant de se les assimiler, elles rejettent dans le milieu les déchets de la réaction. La croissance osmotique d'ailleurs fait un choix parmi les substances qui lui sont offertes, absorbant certaines d'entre elles et laissant les autres. Les productions osmotiques présentent les caractères principaux qui caractérisent la nutrition, ce phénomène fondamental de la vie.

Les conséquences de la nutrition chez l'être vivant c'est la croissance, le développement, l'évolution. La conséquence de l'absorption et de la fixation de substance par la production osmotique, c'est la croissance et le développement. La production osmotique grandit, ses formes se développent, se compliquent, son poids augmente. Nous avons vu que la croissance pouvait peser plusieurs centaines de fois le poids de la substance initiale et que le liquide de développement subit une perte de poids correspondante. Le phénomène de la croissance, que l'on a été habitué à considérer comme un phénomène essentiel de la vie, s'offre à nous semblable dans les productions osmotiques.

Les productions osmotiques ont une existence évolutive

comme les êtres vivants et l'on retrouve les analogies jusque dans les détails. Au début les phénomènes d'échange, 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 reconnaître que les membranes des productions osmotiques s'épaississent avec l'age 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 turgescentes, les vieilles deviennent flasques, relachées et ridées. Un phénomène analogue s'observe chez les êtres vivants, la sclérose, l'infiltration calcaire des vaisseaux représentent 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 flacidité des tissus des veillards trahit l'abaissement de la pression osmotique intra-cellulaire.

Comme chez les êtres vivants on observe dans les croissances osmotiques une circulation des liquides nourriciers. Dans un de nos liquides appropriés réalisons une croissance calcaire à longues tiges droites ou ramifiées, puis avec de l'eau diluons considérablement le liquide de développement pour diminuer la concentration du liquide membranogène ; on voit alors, de tous les sommets de la croissance s'échapper avec vitesse des courants liquides révélés par les précipités nuageux qu'ils déterminent sur leur passage, on voit facilement le courant dans les tiges par les granulations qu'il entraîne, parfois des bulles de gaz développées dans l'intérieur de la cellule osmotique montent dans les tiges. Comment d'ailleurs se formeraient les parois et les membranes, à trente ou quarante centimètres de l'endroit où

l'on a placé la substance membranogène si celle-ci ne s'y rendait pas. La force propulsive est la pression osmotique et non la différence de densité, car le liquide qui s'élève dans les tiges est une solution concentrée de sel de calcium beaucoup plus dense que la solution très étendue dans laquelle s'effectue la croissance. On voit d'ailleurs la solution, après s'être élevée dans la tige, retomber dans le liquide de développement ou obéissant aux loi de la pesanteur.

On a longtemps considéré comme la principale caractéristique de la vie l'organisation, c'est à dire l'arrangement spontané de la matière pour produire une forme animée évoluant en dégageant de l'énergie. Les croissances osmotiques sont douées de cette faculté ; leur découverte, c'est la découverte du mécanisme physique de l'organisation de la matière.

Elles nous montrent comment, en dehors de toute intervention d'êtres vivants, l'eau, les carbonates, les phosphates, les silicates, les sulfates, les nitrates, les chlorures en solutions, telles qu'on les livre aux plantes pour leur alimentation, peuvent prendre les formes des êtres vivants, s'organiser en cavités closes, renfermant des liquides, séparées par des membranes osmotiques. Comme pour les êtres vivants nous voyons les forces physiques pourvoir les productions osmotiques de parties différentes par la forme, par la couleur, par l'évolution, par la fonction. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les figures pour juger des différences de formes des parties. Les différenciations de fonction sont tout aussi faciles à constater, avec les croissances manganésiennes elles sont marquées par les différences de couleur qui exprime des différences d'évolution chimique : lorsque de grosses cellules osmotiques émergent dans l'air, il est évident que la fonction d'absorption liquide est localisée dans la partie immergée ; lorsqu'on fait croître du chlorure de calcium dans une solution saturée de carbonate

de potassium 76 parties, de sulfate de potassium 16 parties, de phosphate tribasique de potassium 46 parties, il y a pendant toute la durée de l'évolution un abondant dégagement de bulles de gaz exactement limité à une couronne entourant la base et quelquefois à une calotte au sommet. La différenciation morphologique des parties n'est d'ailleurs que la conséquence des différences d'évolution, c'est-à-dire des différences fonctionnelles des parties. Les croissances osmotiques ont donc ce que, chez les êtres vivants, on a appelé la faculté d'organisation.

Une blessure réparable faite à une croissance osmotique en voie d'évolution ralentit la croissance et le développement comme le fait une maladie ou un accident pour un être vivant : la production osmotique cicatrise ses blessures qui se recouvrent d'une membrane, puis la croissance recommence ; ce procédé de cicatrisation présente une analogie remarquable avec ce que l'on observe chez les êtres vivants.

Les croissances osmotiques représentent des transformateurs d'énergie : elles augmentent de volume, repoussent leur milieu, et accomplissent ainsi un travail extérieur. Il est certain que les réactions chimiques dont elles sont le siège dégagent de la chaleur, elles doivent donc avoir une température supérieure à celle du milieu environnant Quelque peu que l'on puisse actuellement savoir sur les transformations énergétiques dont les productions osmotiques sont le siège, on peut dire cependant qu'elles changent l'énergie osmotique et chimique qu'elles reçoivent en énergie mécanique et calorifique.

Les productions osmotiques sont, et peuvent être rendues le siège de phénomènes chimiques compliqués, d'un véritable métabolisme, dont nos connaissances actuelles permettent d'apercevoir les causes. On sait en effet que la diffusion et l'osmose déterminent des transformations chimiques. D'après H. Sainte-Clair Deville, lorsqu'on fait

diffuser certains sels instables, on remarque que la diffusion les décompose partiellement. Ainsi le sulfate de potasse se sépare du sulfate d'alumine lorsqu'on fait diffuser l'alun ; l'acide chlorhydrique ou l'acide acétique se séparent de l'alumine lorsqu'on fait diffuser le chlorure ou l'acétate d'aluminium. Les modifications chimiques résultent des résistances diverses que les milieux opposent à la diffusion des différents radicaux, des différents ions ; il en résulte aussi des différences de potentiel entre les différents milieux, différences de potentiel qui s'observent également chez les êtres vivants et varient avec les fonctions des organes. Enfin les variations d'hydratation de part et d'autre des membranes osmotiques, sont aussi une cause déterminante de réactions chimiques. Toutes ces actions chimiques sont accompagnées de transformations correspondantes d'énergie, et l'étude de ces métamorphoses chimiques et énergétiques dans les productions osmotiques ouvre un vaste champ à l'investigation expérimentale. Il y a lieu de supposer que ce champ devrait être fécond pour la chimie organique.

Au point de vue de la biologie synthétique, une analogie remarquable entre les productions osmotiques et les êtres vivants se trouve dans la façon dont les liquides intérieurs se comportent en présence des milieux 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'épanchent dans l'air ou dans l'eau qui constitue le milieu ambiant, ils subissent des modifications, abandonnent la consistance liquide, pour prendre la consistance d'une gelée, c'est ce qui constitue la coagulation. Lorsque le liquide intérieur d'une production osmotique s'épanche avec abondance dans le liquide de développement, ce liquide assume 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. La coagulation est un phénomène analogue à celui de la précipitation à l'état de gelée. La croissance osmotique nous montre le carbonateet le phosphate tribasique de calcium prenant la forme de belles membranes colloïdales, transparentes et gélatiniformes ; en pharmacologie on désigne le phosphate calcique comme phosphate de chaux gélatineux, ce qui exprime sa tendance gélatiniforme.

En mélangeant des solutions très étendues de chlorure de calcium et de phosphate tribasique ou de carbonate de potassium on a un précipité colloïdal analogue à de 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 colloïdale gélatineuse. L'analogie se trouve jusque dans l'action de la chaleur lorsqu'on chauffe une solution de sels calciques dissous à la faveur d'un acide volatil, il se forme un précipité si ressemblant à celui de l'albumine coagulée par la chaleur, que pour le différencier il faut le faire dissoudre en ajoutant une goutte d'acide.

Enfin MM. Arthus et Pagès ont fait remarquer que le sang ne coagule plus lorsqu'on l'a privé de son calcium par l'addition d'oxalates, de fluorures, de citrates alcalins, et en général de tous les sels dont les acides précipitent le calcium ; le sang ainsi traité recouvre sa coagulabilité par l'addition en proportion suffisante d'un sel soluble de calcium, ce qui fait employer les sels de calcium comme coagulants. La coagulation se présente donc ici comme la précipitation colloïdale, à l'état de gel, d'un sel de calcium, probablement d'un albuminate. Cette remarque fait ressortir l'intérêt biologique que peut avoir l'étude méthodique des précipités calciques colloïdaux.

Toutes ces analogies semblent indiquer que l'acte élé-

mentaire de la vie c'est la diffusion et l'osmose ; le point de départ des phénomènes vitaux, c'est le contact entre liquides différents séparés par des membranes osmotiques ou le contact immédiat entre des solutions colloïdales différentes, puisque la diffusion dans les solutions colloïdales se fait comme à travers les membranes et déroule les mêmes conséquences. S'il en est ainsi, il est inutile de faire ressortir l'importance biologique de l'étude physico-chimique de la diffusion, de l'osmose et des productions osmotiques, cette étude est la base même de la biologie synthétique.

Les êtres vivants présentent deux sortes de mouvements, les uns sont déterminés par les excitations venant de l'extérieur. Chez les êtres très compliqués, l'énergie excitatrice d'origine extérieure, est infime par rapport aux quantités d'énergie mises en jeu dans les réponses ; d'autre part, par suite des modifications produites par les impressions intérieures, une même excitation détermine des réponses tellement différentes que ces réponses ont l'apparence de la spontanéité, cependant, toute action des êtres vivants a ses motifs qui ne sont autres que les excitations venant de l'extérieur. Les mouvements de la seconde sorte présentés par les êtres vivants, sont liés à la nutrition, comme les mouvements du cœur et de la respiration, ces mouvements sont rythmiques et il est évident que leur explication physico-chimique est subordonnée à la connaissance des phénomènes physico-chimiques susceptibles de produire des mouvements rythmiques en dehors des êtres vivants. Les croissances osmotiques présentent deux sortes de mouvements, les croissances qui nagent dans leurs liquides de développement se déplacent ou se déforment sous l'influence des plus légères excitations extérieures: mouvements, différences de température, différences de concentration produite par une simple goutte d'eau, etc.; les croissances osmotiques répondent donc à toutes les actions extérieures par un déplacement ou une déformation ; elles présentent aussi

des mouvements liés à leur nutrition, et ces mouvements sont rythmiques comme ceux de la respiration et du cœur. La croissance osmotique se fait, le plus souvent, non pas d'une façon continue, mais périodique ; l'eau, qui traverse la membrane pour pénétrer à l'intérieur, y augmente la pression et distend la membrane qui d'abord résiste par élasticité, puis cède brusquement à la pression en s'amincissant sur une partie de sa surface, à ce moment la pression intérieure baisse brusquement. Ce mécanisme s'observe bien en faisant pousser dans une solution de phosphate tribasique alcalin des graines faites avec du chlorure de calcium pulvérisé, 1 100 de phosphate monocalcique et de la glycérine, on s'arrange pour incliner ou couder les tiges qui s'élèvent de ces graines, par exemple en versant au-dessus d'elle un peu du liquide de développement ou d'eau, lorsque la pression intérieure augmente on voit l'extrémité de la tige inclinée se redresser progressivement sous l'influence de la turgescence, puis brusquement cette extrémité retombe de plusieurs millimètres, le phénomène se reproduit environ toutes les quatre secondes, relèvement graduel de l'extrémité de la tige, puis chute rapide, nous avons vu ce mouvement rythmique spontané durer plus d'une heure.

On a dit : la substance de la croissance osmotique change à chaque instant de son développement, tandis que l'être vivant transforme en sa propre substance, qui reste toujours identique à elle-même, les matières qu'il emprunte au milieu. Cette opinion, malgré qu'elle soit un dogme scientifique est une illusion. La substance de l'être vivant ne reste jamais identique à elle-même elle change à chaque instant de l'existence, c'est ce changement qui constitue l'involution sénile, la substance de vieillard n'est pas la substance d'enfant, et, pour certains êtres vivants, comme les éphémères, dont la durée est très courte, les changements de la substance sont bien plus rapides que pour certaines croissances osmotiques.

Les croissances osmotiques, a-t-on dit, ne peuvent avoir aucun rapport avec les êtres vivants parce qu'elles ne sont pas albuminoïdes. C'est considérer la vie comme une substance, c'est confondre la synthèse de la vie avec la synthèse de l'albumine. Quand on fera de l'albumine, ce sera probablement de l'albumine morte. Si tous les êtres vivants contiennent des substances albuminoïdes, c'est que ces substances sont particulièrement aptes à former les membranes osmotiques qui constituent les êtres vivants. La plupart des croissances osmotiques que nous présentons sont faites avec les éléments mêmes qui constituent les êtres vivants. Les productions osmotiques par exemple obtenues par la croissance du nitrate de calcium dans une solution de carbonate de potassium de phosphate tribasique de potassium ou de sodium, de sulfate de sodium contient tous les principaux éléments dont sont formés les êtres vivants : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le soufre, le phosphore.

Le principal problème chimique de biologie synthétique ne me semble pas être celui de la synthèse des albuminoïdes, mais un problème en apparence beaucoup plus simple ; la réduction de l'anhydride carbonique par l'énergie rayonnante, ce qui serait la reproduction de la fonction chlorophylienne.

Cette étude des phénomènes physico-chimiques que présentent ces productions osmotiques est à peine commencée, mais nous avons la méthode, la voie se trouve très largement ouverte à l'investigation expérimentale, les expériences à faire se présentent à l'esprit par milliers, la question ne demande plus que du travail et des travailleurs, il faut expérimenter avec des substances chimiquement instables, comme les albuminoïdes, des substances qui entrent très facilement en réaction de synthèse ou de décomposition, pour absorber à l'état potentiel chimique, ou dégager l'énergie dont les manifestations

constituent les fonctions vitales ; il faut expérimenter avec les substances entrant en réaction de synthèse ou de décomposition sous l'influence de l'eau, par hydratation ou par hydrolyse, car c'est le mécanisme dominant des réactions vitales et c'est précisément aussi celui que l'osmose met surtout en jeu, car d'un côté de la membrane osmotique, l'hydratation augmente, de l'autre côté elle diminue.

La vie n'est pas une substance, c'est un phénomène mécanique, dynamique et cinétique déterminé par des actions physico-chimiques, tout ce que nous savons conduit à admettre que ces actions physico-chimiques sont de même nature que celles que nous observons en dehors des êtres vivants, c'est leur groupement, leur mode d'association et de succession, leur harmonie qui constitue la vie, et le problème de la synthèse de la vie se présente comme devant consister à harmoniser ces phénomènes physico-chimiques comme ils le sont chez les êtres vivants. Il ne saurait y avoir aucune impossibilité à ce que cette harmonie, en partie ou en totalité, puisse se réaliser avec des substances de nature diverse.

« En vérité, dit M. Albert Gaudry, dans les enchaînements du monde animal je ne conçois pas pourquoi le fait qu'un corps organique est formé de tels ou tels éléments est plus important que la manière dont les éléments sont groupés. Descarte avait regardé l'étendue comme la propriété essentielle de l'être organisé, il supposait qu'il est inerte par lui-même et que c'est Dieu qui est son moteur. Mais aujourd'hui la plupart des philosophes ont substitué à l'idée de Descartes celle de Leibnitz qui regarde la force comme la propriété essentielle de l'être ; la matière que nous voyons et que nous touchons est quelque chose de secondaire. Si un être est une force, cette force peut s'agréger de la matière qui a telle ou telle forme, qui a aussi telle ou telle structure intime, telle ou

telle essence chimique ; je ne pense pas que les divisions établies d'après la notion de substance doivent être beaucoup plus importantes que celles établies d'après la notion de forme ».

L'intérêt biologique de la morphogénie osmotique est tout à fait indépendant de la nature des substances employées avec toutes les substances qui, au contact, produisent des membranes osmotiques, on produit un phénomène analogue à la nutrition, et parallèlement, la croissance et le développement de formes et de structures rappelant celles des êtres vivants. La morphogénie osmotique est un mécanisme, un phénomène physique, que l'on obtient avec des substances très diverses. C'est le premier phénomène physique permettant à l'esprit de l'homme d'entrevoir comment les êtres vivants ont pu naître et se développer suivant les lois naturelles. Si nous ne pouvons produire la croissance osmotique avec les combinaisons dont sont formés les êtres vivants, cela tient simplement à ce que, dans la synthèse de l'être vivant, la physique devance la chimie.

On dit : il ne faut pas forcer les analogies ; mais forcer les différences conduit également à l'erreur. Caractériser les êtres vivants par la nutrition, définie par l'absorption au milieu, la transformation chimique, la fixation de la substance absorbée, le rejet dans le milieu de substances qualifiées déchets. C'est les differencier par des caractères appartenant à beaucoup de réactions chimiques. Faire de la réaction aux impressions extérieures l'apanage des êtres vivants, c'est méconnaître la généralité d'une loi de la nature. Nous avons vu qu'il est également inexact de différencier les êt es vivants par la constance de leur composition ; rapprocher par ces remarques les êtres vivants des productions osmotiques n'est pas conduire à l'erreur en forçant les analogies ; c'est conduire à la vérité, c'est rectifier les erreurs commises en forçant les différences.

En résumé : les croissances osmotiques ont une existence évolutive, elles se nourrissent par osmose et intussusception, elles exercent une sélection sur les substances qui leur sont offertes, elles les modifient chimiquement avant de se les assimiler ; comme les êtres vivants elles éliminent une partie de leur substance, représentant le déchet de leur fonctionnement, dans le milieu dans lequel elles évoluent ; elles grandissent et développent des formes et des structures qui rappellent celles des êtres vivants ; elles sont sensibles à toutes les actions extérieures qui influencent d'une façon remarquable leur développement et leurs formes. Or la nutrition, l'assimilation, l'élimination, la sensibilité, la croissance, l'organisation tel que les présentent les croissances osmotiques sont des phénomènes qui ont été trouvés assez importants pour être considérés comme caractéristiques de la vie. Les croissances osmotiques sont incontestablement les productions physiques les plus voisines des êtres vivants et, ne serait-ce qu'à ce titre, elles méritent au plus haut point la considération et l'étude.

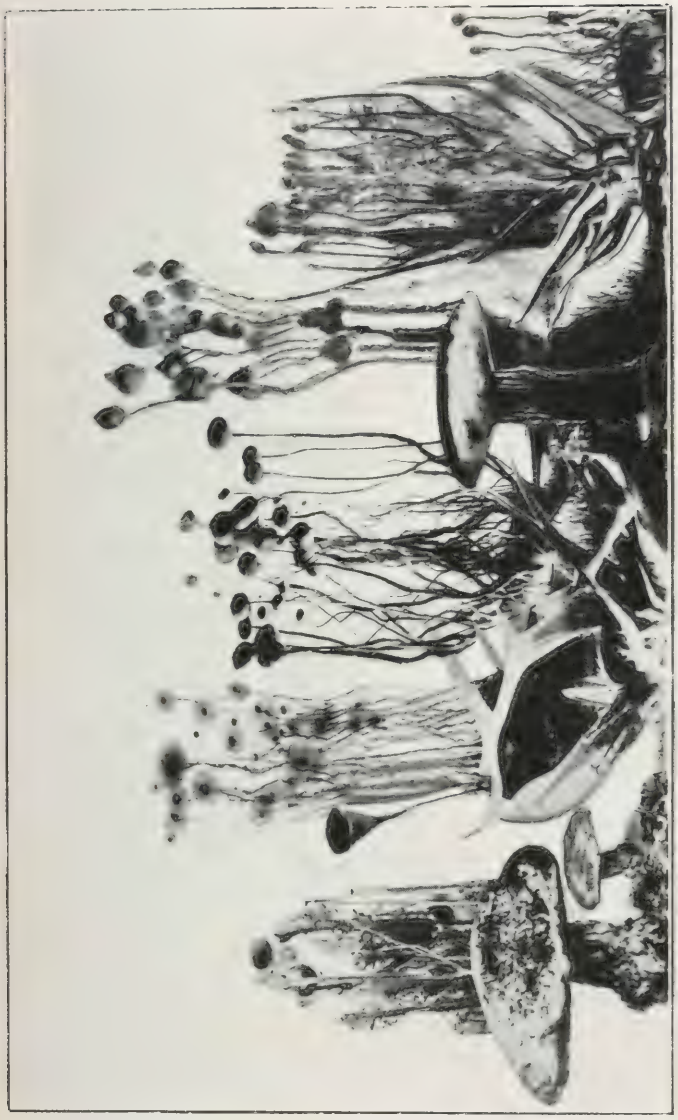


Fig. 53. — Productions osmotiques.

CHAPITRE XIII

L'évolution et les générations spontanées

L'origine et le développement des êtres vivants ont été longtemps, et sont encore aujourd'hui pour beaucoup de personnes, considérés comme en dehors des phénomènes naturels, comme hors de la portée de l'investigation expérimentale. C'est à un français, à Jean Lamarck, le véritable fondateur de la doctrine scientifique de l'évolution que l'on doit la réforme de cette opinion. Alors que des idées complètement opposées étaient établies dans les esprits comme des vérités absolues, et défendues comme des dogmes sacrés, Jean Lamarck, avec autant de hardiesse dans la conception que de modération dans la forme, conçoit et développe la théorie de l'évolution, avec toutes ses conséquences, depuis la première, la génération spontanée, jusqu'à la dernière, la généalogie de l'homme.

Dans sa philosophie zoologique, parue en 1809, Lamarck ramène dans le domaine des phénomènes naturels l'origine des êtres vivants et de l'homme, et tous les phénomènes de la vie, il revendique pour la raison leur étude et leur compréhension. D'après Lamarck tous les corps vivants et inorganiques de la nature sont soumis aux mêmes lois, la vie n'est qu'un phénomène physique, tous les phénomènes vitaux sont dûs à des causes mécaniques, soit physiques, soit chimiques, ayant leur raison d'être dans l'organisation ; il écrit : « Tous les corps organisés

de notre globe sont des productions de la nature. A leur source le physique et le moral ne sont sans doute qu'une seule et même chose. Il faut rechercher dans la considération de l'organisation les causes mêmes de la vie. »

Dans l'évolution intellectuelle de l'humanité aucun progrès ne paraît plus grand que celui réalisé par Lamarck : c'est, avec toutes ses conséquences, la conquête du phénomène de la vie par l'intelligence.

Conformément à la méthode scientifique, Jean Lamarck établit sa doctrine sur les faits et les phénomènes observés dans la nature, interprétés au moyen de la raison : « Je me renferme, dit-il, dans les bornes d'un simple observateur de la nature. »

C'est l'observation du perfectionnement graduel des êtres vivants depuis le plus simple jusqu'au plus compliqué, qui a inspiré à Lamarck l'idée de l'évolution et du transformisme : « Comment, dit-il, ne pas rechercher à quoi peut tenir un fait si positif et si remarquable. Ne doit-on pas admettre que la nature a produit successivement les différents corps doués de vie, en procédant du plus simple vers le plus composé. »

Pour la facilité de l'étude, et dans l'ignorance des intermédiaires, on a divisé les productions naturelles en règnes, en genres, en espèces. Les faits recueillis, plus nombreux, tendent à montrer qu'il n'existe de séparations, ni entre les espèces, ni même entre les règnes, partout le passage est graduel, insensible, toutes nos séparations sont artificielles, ce fait est nettement reconnu et exprimé par Lamarck : « La nature n'a rien fait de semblable, dit-il, et au lieu de nous abuser en confondant nos œuvres avec les siennes, nous devons reconnaître que les classes, les ordres, les familles, les genres et les nomenclatures sont des moyens de notre invention. Rien de tout cela n'existe dans la nature. Aussi on peut assurer que parmi ses productions la nature n'a réellement formé ni classe, ni ordre,

ni familles, ni genres, ni espèces constantes, mais seulement des individus. A mesure qu'on recueille les productions de la nature, à mesure que nos collections s'enrichissent, nous voyons presque tous les vides se remplir et les lignes de séparation s'effacer. »

Lamarck s'élève contre l'opinion de l'immuabilité des espèces : « Les espèces, dit-il, n'ont qu'une constance relative aux circonstances dans lesquelles se sont trouvés les individus qui les représentent. Les individus d'une espèce doivent se perpétuer sans varier tant que les circonstances qui influent sur leur manière d'être ne varient pas essentiellement. Quantité de faits nous apprennent qu'à mesure que les individus d'une de nos espèces changent de situation, ils en reçoivent des influences qui changent peu à peu la consistance et les proportions de leurs parties, leurs formes, leurs facultés, leur organisation même ; en sorte que tout en eux participe dans le temps aux mutations qu'ils ont éprouvés. »

Lamarck affirme nettement la génération spontanée comme une opinion imposée par les faits : « J'espère prouver, dit-il, que la nature possède les moyens et les facultés qui lui sont nécessaires pour produire ce que nous admirons en elle. Les animaux et les plantes les plus rudimentaires sont nés et naissent encore aujourd'hui par génération spontanée. »

D'ailleurs Lamarck résume lui-même sa doctrine dans les six propositions suivantes :

1° « Tous les corps organisés de notre globe sont de véritables productions de la nature qu'elle a successivement exécutés à la suite de beaucoup de temps. »

2° « La nature a commencé et recommence encore tous les jours par former les corps organisés les plus simples, elle ne forme directement que ceux-là, c'est-à-dire ces premières ébauches de l'organisation qu'on a désigné par l'expression de générations spontanées. »

3° « Les premières ébauches de l'animal et du végétal étant formées dans les lieux et les circonstances convenables, les facultés d'une vie commençante et d'un mouvement organique établi ont nécessairement développé peu à peu les organes qu'avec le temps elles ont diversifiés ainsi que les parties. »

4° « La faculté d'accroissement dans chaque portion du corps organisé étant inhérente aux premiers effets de la vie, elle a donné lieu aux différents modes de multiplication et de régénération des individus et par là les progrès acquis dans la composition de l'organisation et dans la forme et la diversité des parties ont été conservés ».

5° « A l'aide d'un temps suffisant, des circonstances qui ont été nécessairement favorables, des changements que tous les points de la surface du globe ont nécessairement subis dans leur état, en un mot du pouvoir qu'ont les nouvelles situations et les nouvelles habitudes pour modifier les organes des corps doués de la vie, tous ceux qui existent maintenant ont été successivement formés tels que nous les voyons. »

6° « Enfin d'après un ordre semblable de chose, les corps vivants ayant éprouvé chacun des changements plus ou moins grands dans l'état de leur organisation et de leurs parties, ce qu'on nomme espèce parmi eux a été insensiblement et successivement ainsi formé, n'a qu'une constance relative dans son état, et ne peut être aussi ancien que la nature. »

L'œuvre admirable de Lamarck fût en France l'objet d'une incompréhension absolue, on la traita comme indigne de toute considération, cette méconnaissance affligea profondément Lamarck. Les douleurs morales sont plus pénibles que les douleurs physiques ; celles de Lamarck firent de lui un martyr.

La doctrine de Lamarck eut pourtant un adepte : Etienne

Jeoffroy Saint-Hilaire, mais sous le poids de l'autorité des adversaires, il fut bientôt réduit au silence.

Pour vivre, se développer, prendre dans les esprits la place qu'elle mérite, la doctrine de l'évolution a dû renaître dans un pays de libre recherche. Darwin l'a remise au jour et l'a dotée de la sélection naturelle ; mais en dehors des perfections de détail qui s'y ajouteront toujours, Lamarck avait formulé la doctrine de l'évolution des êtres vivants dans toute son étendue, avec une précision parfaite. Si son œuvre est mort-née, si celle de Darwin s'est développée vigoureusement, si la théorie de l'évolution s'appelle aujourd'hui le Darwinisme, ce n'est pas à une imperfection, à une insuffisance de l'œuvre de Lamarck qu'on peut l'attribuer, c'est le milieu où elle s'est produite qui a étouffé l'œuvre de Lamarck. C'est le professeur Ernest Hœckel, d'Iéna qui, en 1868, a révélé au monde le génie de Lamarck en ces termes : « Le chef de la philosophie de la nature en France est Jean Lamarck qui, dans l'histoire de la doctrine généalogique est en première ligne à côté de Gœthe et de Darwin, à lui revient l'impérissable gloire d'avoir le premier élevé la théorie de la descendance au rang d'une théorie scientifique indépendante, et d'avoir fait de la philosophie de la nature la base solide de la biologie toute entière ». En découvrant et en faisant ressortir le génie de Lamarck, Hœckel accomplissait un acte de justice et contribuait à la gloire de la France.

Plus loin Hœckel ajoute : « Il n'est pas une contrée scientifiquement cultivée en Europe où la doctrine de Darwin ait eu si peu d'influence, où elle ait été si mal comprise qu'en France, à tel point que maintenant, dans le cours de ces études, nous n'aurons plus à mentionner les naturalistes français. »

L'esprit ne paraît pas avoir changé en France depuis l'époque à laquelle Lamarck faisait paraître sa philoso-

phie zoologique et celle à laquelle Hœckel écrivait son histoire de la création naturelle.

Depuis le commencement de 1907, l'Académie des Sciences de Paris, par décision de son bureau, a exclu de ses comptes rendus mes recherches sur la diffusion et l'osmose, parce que, m'a-t-on fait savoir, elles soulèvent la question des générations spontanées.

L'opinion régnante parmi les savants parisiens est que la question des générations spontanées a été définitivement et négativement résolue par l'expérience de Pasteur montrant qu'un liquide stérilisé, conservé dans un tube fermé, reste stérile.

La doctrine de l'évolution, telle qu'on l'expose, sans les générations spontanées, et sans une théorie physico-chimique de la vie, est une doctrine mutilée, sans cohésion et sans unité ; la doctrine de l'évolution impose d'admettre les générations spontanées et la nature physico-chimique de la vie ; sur ces points Lamarck était très simplement, mais très nettement affirmatif : « Quoiqu'il soit généralement reçu, écrivait-il, en citant les êtres qui composent chaque règne, de les indiquer sous le nom de productions de la nature, il paraît néanmoins que l'on attache aucune idée positive à cette expression. Apparemment que des préventions d'une origine particulière empêchent de reconnaître que la nature possède la faculté et tous les moyens de donner elle-même l'existence à tant d'êtres différents, de varier sans cesse, quoique très lentement, les races de ceux qui jouissent de la vie, et de maintenir partout l'ordre général que nous observons. » Cette phrase de Lamarck est dans toutes ses parties d'une parfaite actualité.

L'attitude à l'égard des recherches expérimentales tendant à l'explication physico-chimique des phénomènes de la vie, trouve son explication dans les tendances mystiques d'un grand nombre de savants détenteurs de l'auto-

rité, tendances qui se manifestent par l'invocation, pour expliquer les phénomènes de la vie, d'une force inconnue, par l'accueil enthousiaste à des rayons extraordinaires par l'intérêt pour un linceul miraculeux, par les incursions dans le domaine du spiritisme et du surnaturel. Profondément respectueux de l'activité d'autrui, je mentionne ces faits sans aucun esprit de critique, simplement dans un esprit de défense pour la libre recherche, dans le but de conquérir pour les investigations expérimentales de la biologie synthétique les droits dont on les a injustement privées. Il n'est pas bon d'écarter les questions qui soulèvent des discussions, ce sont celles qui contribuent le plus au progrès ; c'est de la discussion sur les générations spontanées qu'est sortie la microbiologie.

La doctrine de Lamarck est déformée lorsqu'on l'exprime en disant : la fonction fait l'organe, quelquefois même on écrit : la fonction crée l'organe. Cette formule équivaut à dire : la vie fait l'être vivant ; ce qui est incompréhensible à moins d'admettre la fonction comme une entité immatérielle, indépendante, qui fait un organe matériel pour s'y loger ensuite. On ne trouve dans les écrits de Lamarck aucune pensée semblable. La loi de Lamarck ainsi traduite est formulée par lui dans les termes suivants : « Dans tout animal qui n'a point dépassé le terme de son développement, l'emploi le plus fréquent et soutenu d'un organe quelconque, le développe, l'agrandit et lui donne une puissance proportionnée à la durée de cet emploi ; tandis que le défaut constant d'usage de tel organe l'affaiblit insensiblement, le détériore, diminue progressivement ses facultés, et finit par le faire disparaître. »

Dans l'expression de cette loi, Lamarck fait nettement préexister l'organe à la fonction ; il se borne à affirmer : la fonction, c'est-à-dire l'action et la réaction, modifie l'organe ; en d'autres termes, l'organe est modelé par les actions extérieures qui s'exercent sur lui. Si c'est le sens

que l'on attribue à la formule, la fonction fait l'organe : cette manière de s'exprimer n'introduit pas moins la confusion dans l'esprit du lecteur, car elle établit une équivoque que Lamarck avait su éviter.

L'astronomie nous enseigne que notre globe s'est détaché incandescent du soleil la géologie nous montre qu'il

Fig. 54. — Productions osmotiques, formes aquatiques.

avait autrefois des températures incompatibles avec la vie. C'est lorsque la terre s'est refroidie que les êtres vivants y sont apparus. Il a bien fallu qu'ils naissent spontanément des matériaux terrestres sous l'influence des forces naturelles. Cette opinion s'impose aux hommes qui réfléchissent et jugent librement. Comment admettre l'évolution sans la génération spontanée ? Ce serait une doctrine sans base. La doctrine de l'évolution qui s'est donnée pour mission

de reconstituer tous les anneaux de la chaîne des êtres, depuis les plus compliqués jusqu'aux plus simples, ne doit pas, ne peut pas laisser la chaîne brisée entre le monde vivant et le monde minéral ; là encore la chaîne est continue, le passage est graduel, il ne peut pas y avoir, il n'y a pas de solution de continuité.

D'ailleurs, les évolutionnistes comme Lamarck et Hœckel qui, l'esprit libre, n'ont d'autres préoccupations que la découverte de la vérité, admettent la génération spontanée sous l'influence des forces naturelles, non pas comme l'opinion la plus vraisemblable, mais comme la seule s'imposant à l'esprit.

L'observation révèle à Lamarck l'apparition des êtres sur la terre à une certaine époque de son évolution, leur développement graduel en formes de plus en plus compliquées, de plus en plus parfaites, à mesure que les circonstances et les conditions changent à la surface du globe ; Darwin nous montre comment la sélection naturelle combinée à l'hérédité, tend à faire prédominer et à accentuer les variations favorables à l'existence ; Hœckel nous montre le parallélisme entre la philogénie et l'ontogénie, c'est-à-dire le parallélisme des formes affectées par les ancêtres dans l'évolution de la race, et des formes successives de l'embryon dans le développement de l'individu. Ce sont de grandes et admirables conquêtes de l'intelligence ; nous nous inclinons respectueusement et pleins d'damiration devant leurs auteurs. Ils ont constaté l'apparition et l'évolution progressive des êtres, ils nous ont laissé à l'expliquer.

La doctrine, tout en proclamant la génération spontanée et l'évolution progressive, ne nous donne aucune indication sur les mécanismes physiques de cette génération, de cette évolution, elle ne nous dit point par quelles forces, par quelles lois physiques ont pu naître les êtres les plus simples : comment, physiquement, ont agi sur eux les circonstances et les milieux pour les modifier, elle se borne

à constater les variations simultanées des formes organiques et des influences physiques sans rien nous apprendre sur le mode d'action de celles-ci ; la doctrine nous montre comment les variations acquises sont transmises et accentuées par la sélection, mais elle ne nous montre pas comment ces variations sont acquises. La même ignorance règne d'ailleurs sur les raisons physiques du développement ontogénique, c'est-à-dire de l'évolution embryonnaire.

Fig. 55. — Formes marines de productions osmotiques.

Les actions morphogéniques de l'osmose donnent des résultats extrêmement variés ; la plupart des formes produites rappellent celles des êtres vivants actuels ou disparus, si bien qu'en les voyant, pour les désigner, on énonce immédiatement le nom de l'être vivant correspondant : coquille, champignon, madrépore, algue ; l'analogie des fonctions est aussi étroite que celle de la forme et de la structure ; cependant, l'étude de l'action organisatrice de

l'osmose est à peine commencée ; les résultats varient avec toutes les circonstances physiques, avec toutes les proportions, avec toutes les substances. L'étude de l'action organisatrice de l'osmose avec les substances organiques n'est même pas commencée.

L'osmose donne des productions d'une grande complexité, beaucoup plus compliquées que les êtres vivants les plus simples ; ce fait, rapproché du développement ontogénique, dans lequel nous voyons une simple cellule, l'œuf, dans des conditions physiques et de milieu convenables, évoluer rapidement et donner les êtres les plus complexes, suggère l'opinion qu'il n'y a pas eu seulement production d'une forme très simple primitive dont toutes les autres proviendraient par évolution, mais qu'il serait né, par génération spontanée, des formes aussi nombreuses que variées qui ont pu, dès l'origine, atteindre, par développement physique rapide, un haut degré de complexité. La morphogénie osmotique nous montre en effet que les forces physiques ont des facultés d'organisation infiniment plus grandes que celles qu'avaient osé supposer jusqu'ici les esprits les plus audacieux.

Etant donné l'ignorance dans laquelle nous sommes encore des phénomènes qui se passent dans les liquides qui sont sous nos yeux, combien peu devons-nous savoir du passé dans lequel ont régné des conditions physico-chimiques si immensément variées ! Ne serait-ce qu'au point de vue du temps, nous ne saurions avoir l'espoir de les réaliser toutes. Que savons-nous même du présent, des phénomènes physico-chimiques qui se passent dans les grandes profondeurs des océans ? Il est possible que, même actuellement, là se continue la genèse de la vie, son émergence du monde minéral.

« Aujourd'hui, dit M. Alb. Gaudry, les polypes construisent des récifs plus étendus que jamais ; l'oxygène et l'hydrogène qui autrefois faisaient de l'eau, l'oxygène et l'azote

qui faisaient de l'air, le carbone, le phosphore, la chaux, la silice, qui faisaient des pierres, servent en partie à former des êtres vivants. La silice se dispose en squelette de radiolaires ou d'éponges, la chaux et le carbone deviennent coquilles de foraminifères ou de mollusques, squelette de polypes ou d'échynodermes, carapaces de crustacés, ou bien s'unissant au phosphore, ils se changent en os de vertébrés. La vie succède au primitif silence de la matière

Fig. 56. — Formes marines de productions osmotiques.

inerte ; elle envahit la surface du globe, de toute part le monde minéral se change en monde organique. »

Dès que l'on admet que la vie est apparue sur la terre sous l'influence des forces naturelles, agissant suivant les lois physiques régnant sur des conditions différentes de celles d'aujourd'hui, on est immédiatement guidé dans l'étude de la biogenèse, de la génération spontanée, de l'évolution des êtres vivants. La voie de la recherche est

trouvée ; il faut, à l'aide des documents dont nous disposons, s'appliquer à connaître les conditions qui régnaient sur la terre, aux périodes d'apparition et d'évolution des êtres vivants. Il faut s'efforcer de reproduire ces conditions et étudier leurs effets.

Les êtres vivants sont tous formés des mêmes éléments que le monde minéral, de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de soufre, de calcium, de sodium, de potassium, de phosphore, de fer. Les combinaisons de ces éléments chez les êtres vivants sont complexes, on les a qualifiées d'organiques. On croyait autrefois que ces combinaisons organiques étaient le résultat de la vie, qu'elles ne pouvaient être effectuées que par les êtres vivants. Un très grand nombre de ces substances organiques sont aujourd'hui produites dans les laboratoires par synthèse, c'est-à-dire en combinant les éléments minéraux et, dans le passé du globe, il est facile d'apercevoir de nombreuses conditions physiques de synthèses organiques en dehors de la vie.

Aux températures élevées du four électrique, température qu'a eu toute la terre à une certaine époque de son évolution, les combinaisons stables ne sont pas les mêmes qu'à la température actuelle, ce ne sont point les oxydes, les silicates, les carbonates, les phosphates, les azotates, mais bien les siliciures, les carbures, les phosphures, les azotures ; ces combinaisons ont donc dû exister à la surface du globe à un certain moment de l'histoire de la terre, à une température à laquelle il n'existait pas d'eau liquide. Lorsque la température s'est refroidie et que l'eau s'est condensée, elle est entrée en réaction avec ces roches, et de ces réactions résultent des produits organiques, comme l'acétylène que l'on obtient par l'action de l'eau sur le carbure de calcium.(Un de nos concitoyens, M. H. Lénicque, dans une communication à la Société des Ingénieurs civils de France, octobre 1903, a développé une théorie de la formation des roches établie sur ces considérations).

L'évolution chimique du globe a d'ailleurs présentée les plus grandes variétés à mesure que la température s'abaissait, et la constitution de la croûte terrestre évoluait parallèlement. A toutes les températures auxquelles l'eau ne peut exister qu'à l'état de vapeur, toutes les réactions chimiques sur la surface de la terre se faisaient entre substances anhydres, entre éléments et sels en fusion ; ce sont des conditions bien différentes de celles dans lesquelles s'est développée notre chimie qui est par dessus tout la chimie des solutions aqueuses. Mais l'expérience peut nous éclairer sur les conditions d'alors, car nous pouvons poursuivre l'étude de la chimie des substances anhydres en fusion.

Plus tard, aux temps primaires et secondaires, alors que la température uniforme et constante était aux environs de 40°, l'atmosphère était chargée de vapeur d'eau, toutes les conditions des orages étaient réunies ; pendant ces périodes immenses de l'existence de la terre l'atmosphère devait être le siège d'incessantes et formidables décharges électriques, qui constituent le plus puissant agent physique de synthèse, elles font entrer l'azote en combinaison pour donner des produits nitrés, ammoniacaux et cyanés qui devaient s'unir au gaz carbonique alors d'une abondance extrême ; c'est alors qu'ont pu et qu'ont dû se former par synthèse physique, de grandes quantités de matières albuminoïdes. Les mers contenaient en outre toutes les substances qui, depuis, se sont fixées dans le métamorphisme des roches primitives et la formation des roches sédimentaires. Il n'est pas douteux que la plupart des éléments de nos minéraux ont été autrefois en solution dans les mers qui contenaient de grandes proportions de carbonates, silicates, phosphates solubles.

L'atmosphère terrestre a nécessairement évolué dans sa composition à mesure que le globe s est refroidi, et il

est nécessaire de se représenter son évolution pour établir l'histoire du développement des êtres vivants.

La paléontologie nous apprend que les premiers êtres sont apparus dans les eaux, les êtres les plus anciens des temps primaires qui, dans l'évolution des êtres vivants, représentent une période plus longue à elle seule que toutes les autres réunies, étaient tous aquatiques. D'autre part tous les êtres vivants sont constitués surtout par des liquides, par des solutions de cristalloïdes et de colloïdes, séparées par des membranes osmotiques à travers lesquelles s'effectuent de perpétuels échanges. Enfin les mers actuelles, ces vastes laboratoires de la vie, sont également des solutions de cristalloïdes et de colloïdes. C'est donc dans l'étude des liquides, dans l'étude des solutions, que l'on doit découvrir la nature et l'origine de la vie.

La vie est un ensemble de fonctions, de transformations énergétiques qui se présentent à nous comme les résultantes de la forme, de la structure, de la composition des êtres vivants. C'est-à-dire des formes extérieures, intérieures et moléculaires, des êtres vivants. Tous les êtres vivants sont formés de cavités closes, remplies de liquides, solution de cristalloïdes et de colloïdes, limitées par des membranes osmotiques. Le premier pas dans l'étude de la vie et de son origine doit donc être l'étude des forces et des circonstances physiques capables d'organiser ainsi les liquides, de donner des cavités closes entourées de membranes osmotiques, d'associer, de grouper ces cavités, de les différencier, de spécialiser leurs fonctions dans l'évolution de l'ensemble. Ces forces et ces circonstances physiques, ce sont précisément celles qui donnent les croissances osmotiques, et nous avons vu que celles-ci avaient non seulement la structure, la forme extérieure d'un grand nombre d'êtres vivants, mais encore les principales fonctions de la vie. De toutes les opinions qui

ont été formulées sur les origines de la vie et des êtres vivants, celle qui attribue les origines de la vie à l'osmose et qui considère les premiers êtres comme des productions osmotiques est de beaucoup la plus vraisemblable, la plus satisfaisante pour la raison.

Fig. 57. — Végétations osmotiques.

Nous avons vu qu'aux temps primaires et secondaires, les mers qui couvraient notre globe devaient présenter à un haut degré les conditions favorables aux productions osmotiques ; pendant ces périodes incommensurables, il a dû nécessairement se produire dans toutes ces mers

des végétations osmotiques exubérantes ; toutes les substances, donnant au contact des membranes osmotiques, sels solubles de calcium, phosphates, carbonates, silicates, matières albuminoïdes, ont dû s'organiser en productions osmotiques, naissant, se développant, évoluant, se dissociant ; des millions de formes éphémères ont dû ainsi se succéder pour donner la nature actuelle dans laquelle le monde vivant représenterait la matière ainsi organisée par osmose.

Lorsqu'on se livre à l'étude expérimentale de la morphogénie osmotique, que l'on voit les substances les plus communes, les plus répandues à la surface de la terre et dans les êtres vivants ; les sels de calcium, les carbonates, les phosphates, les silicates, s'organiser, se développer, croître, affecter des formes nombreuses et variées, analogues à celles des êtres vivants, on ne peut pas concevoir que, pendant toute la durée du passé de la terre, ce phénomène ne se serait jamais produit ; au contraire, la conviction s'impose, irrésistible, que l'osmose a eu nécessairement un rôle prépondérant dans l'histoire et dans l'évolution de la terre et de ses habitants. Quand, après cette étude expérimentale et la conviction qu'elle impose, on interroge la science, on ne trouve aucune mention du rôle de l'osmose dans l'histoire naturelle de la terre, aucune recherche de ses effets, la science est muette, comme si l'osmose n'avait joué aucun rôle, comme si ce phénomène physique n'existait pas.

Nantes, Imprimerie A. Dugas & C^ie^, 5, quai Cassard.

QH
345
L4

Le Duc, Stéphane
Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées

BioMed

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY