

COLLECTION
LES HEURES SCIENTIFIQUES

J. GAUZIT
**LES GRANDS PROBLÈMES
DE L'ASTRONOMIE**

R. TOCQUET
CYCLES ET RYTHMES



A paraître prochainement :

M. FOURNIER
L'ÈRE DES PLASTIQUES

C. ROSIER
L'URBANISME

R. SIMON
HÉRÉDITÉ - VARIATION

"LES HEURES SCIENTIFIQUES"
Collection dirigée par Roger SIMONET

CYCLES & RYTHMES

R. TOCQUET

PARIS

DUNOD

12, RUE BONAPARTE (VI)

R. TOCQUET — CYCLES ET RYTHMES

LES ÉVÉNEMENTS
CYCLES ET RYTHMES
PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES
ET RYTHMIQUES
DANS LA NATURE
ET DANS LA VIE
M. TOCQUET

Tous droits réservés
Copyright © 1923
Imprimé en France

PREFACE

Adoptant la définition du professeur GUITTON pour qui « le rythme, c'est une alternance », M. TOCQUET s'est attaché à montrer combien les phénomènes rythmiques sont répandus dans la nature, qu'il s'agisse du monde physique ou du monde vivant.

Si tous les candidats au baccalauréat ont déjà quelque lumière sur les phénomènes périodiques en acoustique, en optique et en électricité, si peu de personnes ignorent que les battements du cœur ou les mouvements respiratoires sont des phénomènes rythmiques, peu de gens (en dehors de ceux qui se consacrent à l'étude des sciences) se doutent de la généralité de cette notion de cycle, de retour à un état antérieur. Le livre de M. TOCQUET, sans épuiser la question, sans présenter un inventaire complet de ces manifestations rythmiques (ce qui, du reste, n'était point son propos), en montre, néanmoins, des exemples suffisamment nombreux et variés pour que leur importance s'impose à l'esprit.

Mais on aurait tort de penser que cet ouvrage n'est qu'une sorte de catalogue, une énumération ou une évocation de faits établis. L'auteur, conduit par son sujet et par goût personnel à explorer la plupart des phénomènes de la nature, introduit le lecteur dans des domaines extrêmement divers : qu'il s'agisse des conceptions modernes de la matière et de l'énergie, de l'évolution des étoiles, de l'architecture de l'Univers, des mouvements et de l'évolution du globe terrestre, des phénomènes physico-chimiques ou de ceux particuliers aux êtres vivants, une riche documentation a été rassemblée. Et l'excellent pédagogue qu'est M. TOCQUET se retrouve dans la présentation qui séduit par sa clarté et sa précision, par sa sobriété dépourvue de sécheresse. Il y a là un effort heureux et une vraie réussite dans cet art difficile de la vulgarisation scientifique.

Par les nombreux exemples qui forment la substance même de l'ouvrage, par l'ampleur de l'information, le lecteur sera conduit à se faire une idée suffisante et claire des théories et des faits qui forment la substance même de la science moderne, depuis les réactions en chaîne utilisées dans la bombe atomi-

DU MEME AUTEUR

La Vie dans la Matière et dans le Cosmos. Préface du Dr Henri Desoille, professeur à la Faculté de Médecine de Paris. Editions de l'Omnium Littéraire, Paris.

Chimie Générale à l'usage des candidats aux Baccalauréats. Editions Ecole Sciences et Arts, Paris.

Métalloïdes à l'usage des candidats aux Grandes Ecoles. Editions Ecole Sciences et Arts, Paris.

A l'impression :

L'Entraide pour la Vie. Préface de M. Louis Marin, membre de l'Institut, ancien ministre.

Cours de Sciences Naturelles à l'usage des candidats au Baccalauréat Sciences Expérimentales.

En préparation :

Essai d'interprétation des Cycles et des Rythmes.

La Vie et la Pensée.

LES HEURES SCIENTIFIQUES

Collection dirigée par Roger SIMONET

CYCLES ET RYTHMES

COSMIQUES, GÉOLOGiques,
PHYSIQUES ET CHIMIQUES, VITAUX

PAR

R. TOCQUET

PROFESSEUR

PRÉFACE DE

E. LAZERGES

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'ÉDUCATION NATIONALE

PARIS



12, RUE BONAPARTE (VI)

1951

que jusqu'aux courants électriques cérébraux et à la théorie chromosomique de l'hérédité, en passant par le magnétisme terrestre et l'expansion de l'univers.

Mais le dessein de M. TOCQUET n'a pas été seulement d'associer la notion de la généralité du rythme dans la nature : il s'est demandé, aussi, si les phénomènes rythmiques dont la nature physique est le siège pouvaient être sans influence sur le comportement des êtres vivants et, en particulier, de l'homme. Si, en particulier, son état physique, sa santé, son équilibre intellectuel et moral n'étaient pas influencés par les variations mêmes de ces phénomènes qui sont l'essence du milieu où il vit.

Question difficile et extrêmement complexe où les observations, de valeur d'ailleurs très inégale, ne manquent pas; mais les recherches vraiment sérieuses sont peu nombreuses et les résultats encore incertains. Si les rhumatisants ont le peu enviable privilège d'être particulièrement sensibles aux « changements du temps », est-ce que les variations des taches solaires sont responsables de certains troubles psychiques, ainsi que de certaines « poussées » de crimes et de suicides ? La manière même dont sont exposées ces questions troublantes montrera au lecteur combien il faut les aborder avec prudence et quelle réserve s'impose avant de tirer une conclusion définitive.

L'intérêt d'un tel ouvrage est considérable : il tient à la fois à la variété des questions qu'il aborde, à la clarté de l'exposition, à l'étendue et à la sûreté de l'information; mais il est dominé, aussi, par l'importance philosophique du sujet. En même temps qu'il instruit, il invite à la méditation. A ces titres divers, il mérite de retenir l'attention de ce nombreux public de non-spécialistes qui sont curieux des choses de la science et qui ne répugnent pas à un effort de réflexion payé, du reste, par un enrichissement de l'esprit.

ELIE LAZERGES.

Inspecteur général de l'Éducation nationale.

AVERTISSEMENT ET DÉFINITION

En préparant *Cycles et Rythmes*, nous n'avons eu d'autre dessein que d'étudier quelques rythmes et quelques cycles importants ou peu connus. On ne trouvera donc pas, dans cet ouvrage, un examen systématique de tous les phénomènes rythmiques, examen qui nous aurait conduit à des développements démesurés, fastidieux, et, disons-le, sans intérêt.

C'est ainsi que nous n'avons fait que signaler les phénomènes rythmiques largement décrits dans les manuels de physique (son, lumière, phénomènes périodiques en électricité), dans ceux de cosmographie (rythmes du jour et de la nuit, rythme des saisons), dans les livres de physiologie animale (rythmes cardiaque, pulmonaire, etc.) et de physiologie végétale (cycles du Carbone, de l'Azote, du Phosphore). Nous n'avons pas, non plus, recherché, sauf exception, les analogies entre les cycles généraux et certains rythmes particuliers, car nous estimons que la méthode analogique, d'un emploi parfois légitime, conduit, le plus souvent, à des interprétations qui masquent, dépassent ou même faussent la réalité.

Par contre, dans la mesure où elles sont connues, nous avons noté les répercussions de quelques phénomènes rythmiques sur certains agents physiques, sur les êtres vivants et particulièrement sur l'Homme : action des taches solaires sur la physique du globe et sur l'être humain, influences lunaires rythmiques, action sur les organismes du magnétisme et des radiations telluriques, influence de la marée sur les êtres littoraux, rôle des vicissitudes météorologiques et des saisons dans l'apparition et le développement des maladies, etc.

Sous les titres suivants : *Cycles et Rythmes Cosmiques*, *Cycles et Rythmes Géologiques*, *Rythmes Physiques et Chimiques*, *Rythmes Vitaux*, nous avons rangé les différents phénomènes rythmiques étudiés. A vrai dire, cette classification peut paraître arbitraire mais, pour la facilité de l'étude, une classification, même médiocre, vaut mieux que pas de classification du tout; par raison pragmatique, nous avons donc conservé les divisions envisagées; de plus, un très court paragraphe que

nous aborderons immédiatement nous permettra de préciser ce qu'est un rythme.

Définition des phénomènes rythmiques

La plupart des phénomènes peuvent être considérés sous un double aspect : statique et dynamique.

Dans le premier cas, on étudie leur aboutissement, sans se préoccuper de leur allure en fonction de la durée.

Dans le second cas, on étudie leur déroulement dans le temps, en un mot, leur évolution.

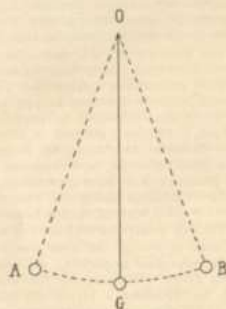


FIG. 1. — Pendule.

Ainsi, en Chimie, si un certain nombre de réactions peuvent être uniquement envisagées sous l'aspect statique, beaucoup d'autres doivent être considérées du double point de vue statique et dynamique.

En Physique, en Astronomie, en Biologie, en Psychologie, un grand nombre de phénomènes sont inséparables du temps et c'est faire une abstraction violente de les étudier du seul point de vue statique.

Or, si nous examinons les phénomènes sous leur forme mouvante, nous pouvons constater, en simplifiant à l'extrême, que

certaines d'entre eux évoluent, sans faire retour à un état semblable à l'état initial, et que d'autres, au contraire, se développent sous une forme rythmique. Définissons, à l'aide d'un exemple simple, ce second caractère.

Suspendons une petite sphère métallique à un fil de fer fin et fixons l'extrémité libre du fil à un support. Nous réalisons, ainsi, ce qu'on appelle, en physique, un pendule.

Ecartons le pendule de sa position d'équilibre jusqu'en A (fig. 1) et abandonnons-le sans vitesse initiale. Le centre de la sphère pesante décrit un arc AGB ayant son centre au point de fixation du fil sur le support. De A en G (G est le milieu de l'arc AGB), la vitesse de la sphère augmente, diminue de G en B et s'annule en ce point. Ensuite, le pendule redescend de B en G, remonte de G en A, et ainsi de suite.

On donne à ce mouvement le nom de mouvement oscillatoire. La sphère du pendule passe, successivement, par les mêmes positions à des intervalles de temps égaux; elle se déplace rythmiquement. Le mouvement oscillatoire est un mouvement rythmique.

Le mouvement pendulaire est, en quelque sorte, un exemple schématique de phénomène rythmique. Mais nous pourrions, avec autant de clarté, caractériser le rythme en partant de phénomènes physiologiques tels que la respiration, la circulation, ou même en envisageant des états psychologiques, comme le tempérament cyclothymique.

Nous verrions, alors, que, dans tous les cas, ce qui caractérise un phénomène rythmique, quel qu'il soit, c'est le retour périodique à une même disposition, à un même état. « Le rythme, écrit le professeur J. Guisson, c'est une alternance. »

CHAPITRE PREMIER

CYCLES ET RYTHMES COSMIQUES

Les Rythmes que nous envisageons dans ce chapitre sont très vastes et très généraux, puisqu'ils intéressent, d'une part, le Cosmos dans son ensemble, et, d'autre part, les Galaxies et les étoiles considérées isolément.

Certains d'entre eux sont hypothétiques; aussi, nous ne les proposons qu'avec la plus grande réserve; c'est le cas des rythmes que nous étudions sous les paragraphes : *Matière et Énergie* et *l'Expansion de l'Univers*.

Les rythmes stellaires sont beaucoup moins douteux que les précédents, et, cependant, le schéma classique de Russell qui exprime l'évolution des étoiles et qui, naguère encore, semblait définitif, est maintenant remis en question avec la théorie de l'échelle courte du temps cosmique.

Par contre, nous entrons dans le domaine de la certitude avec les rythmes solaires et lunaires qui ressortent de la simple et pure observation.

Ce qui rend cette étude particulièrement intéressante, c'est qu'elle nous fait constater la solidarité étroite des êtres avec le Cosmos tout entier. L'être organisé, dirait le mathématicien, n'est qu'un point singulier de l'Univers; il est donc impossible de l'en abstraire; il participe à ses fluctuations, à ses rythmes.

Bien sûr, les données actuelles concernant l'influence des astres et du Cosmos, en général, sur les êtres vivants et sur l'Homme, en particulier, ne sont pas définitives. La science de demain apportera des retouches au tableau esquissé plus loin, mais nous pouvons dire, d'ores et déjà, que les grandes lignes en sont tracées.

Si cette immense machine qu'est l'Univers recèle, encore, du point de vue que nous considérons ici, des mécanismes ignorés, des parties inexplorées, de l'inattendu et de l'incompris, les résultats maintenant acquis sont garants de l'avenir et doi-

vent nous inciter à de nouveaux efforts. La méthode expérimentale, guidée par la raison, nous permettra, certainement, d'arracher d'autres lambeaux de vérité au mystère du Monde.

1. Matière et Énergie

Il n'est pas besoin de longs calculs pour se rendre compte que la quantité de chaleur rayonnée par les étoiles est énorme. Considérons, par exemple, le Soleil qui est l'étoile la plus proche de nous et la plus facile à étudier. Un cm^2 pris à la surface de la Terre et normal aux rayons solaires reçoit deux microthermies par minute. La distance Soleil-Terre correspondant à 215 rayons solaires, l'émission calorifique est $(215)^2$ fois plus forte à la surface du Soleil, c'est-à-dire $2 \text{ pth} \times 215^2 = 92.450$ microthermies par minute et par centimètre carré. La surface solaire étant d'environ $6 \times 10^{22} \text{ cm}^2$, l'émission totale du Soleil est donc 10^{28} microthermies par minute, soit un nombre formé du chiffre 1 suivi de 26 zéros.

Quelle est la source de cette énergie prodigieuse? Tel est le problème qui s'est posé depuis un siècle.

Elle ne saurait provenir d'une combustion. Dans le cas très favorable d'un Soleil en charbon pur, celle-ci cesserait en 2.000 ans, ce qui assignerait au Soleil un âge ridiculement faible. D'autre part, toute combustion ne peut avoir lieu qu'en présence d'oxygène ce qui conduit à une autre absurdité étant donné l'absence d'atmosphère oxygénée autour de l'astre.

Les réactions chimiques les plus exothermiques donnent des résultats analogues et ne peuvent être prises en considération.

Une hypothèse plus intéressante fut formulée, par Mayer, en 1848. D'après cet auteur, le Soleil tirerait son énergie de météorites ou d'astéroïdes tombant à sa surface; leur énergie cinétique absorbée serait suffisante pour compenser la perte d'énergie rayonnée.

Malheureusement, pour équilibrer la perte annuelle, il faudrait que le Soleil reçût 10^{28} g de météorites. Or, un pareil accroissement de masse aurait pour conséquence une altération sensible des mouvements planétaires, ce que l'on ne constate pas. L'hypothèse de Mayer est donc inadmissible.

En 1854, Helmholtz émit cette idée que l'énergie solaire tirait, vraisemblablement, son origine de la contraction de l'astre. L'hypothèse fut étudiée par de nombreux savants

parmi lesquels on peut citer lord Kelvin et Poincaré. Ces derniers montrèrent que si l'on acceptait la théorie de Helmholtz, le Soleil n'aurait pu briller de son éclat actuel que depuis 25 millions d'années. Or, l'âge de la Terre, évalué par différentes méthodes, est de 3 à 4 milliards d'années. Le Soleil ayant un passé aussi considérable, l'hypothèse de Helmholtz, bien que plus satisfaisante que les précédentes, est donc aussi à rejeter.

Le problème de l'origine de l'énergie solaire se trouvait, par conséquent, dans une impasse lorsque M. et Mme Curie firent la découverte de la radioactivité naturelle. Une voie nouvelle s'ouvrait aux chercheurs.

Dans les radioactivités, en effet, un noyau d'atome lourd se désagrége en émettant beaucoup d'énergie; la chaleur solaire n'avait peut-être pas d'autre source. C'est ce que pensèrent immédiatement bon nombre de savants.

Mais il fallut bien vite déchanter. On calcula, en effet, que si le Soleil était en Radium pur, son âge n'excéderait pas un demi-milliard d'années, valeur très insuffisante comme nous l'avons dit. D'ailleurs, argument décisif, le Soleil contient très peu d'éléments radioactifs. Enfin, une étoile radioactive serait instable.

Néanmoins, c'était bien dans la désintégration de la matière, c'est-à-dire dans la transformation de la matière en énergie qu'il fallait chercher l'origine de la chaleur solaire.

On sait, depuis longtemps, que les divers éléments peuvent être envisagés comme résultant de l'union d'atomes d'Hydrogène; cette hypothèse fut émise, en premier lieu, au siècle dernier, par le chimiste anglais Prout.

L'atome d'Hydrogène a pour masse 1,008. L'atome d'Hélium que l'on peut considérer comme formé de 4 atomes d'Hydrogène devrait donc peser $1,008 \times 4 = 4,032$ g. Or, son poids n'est que 4 g; il existe, par conséquent, un « défaut de masse ».

Einstein, puis Langevin démontrèrent alors, vers 1911, que la masse perdue dans la transformation de l'Hydrogène en Hélium, soit 0,032 g, produit de l'énergie selon l'équation d'équivalence :

$$M = \frac{E}{V^2}$$

dans laquelle, M désigne la masse, en grammes, de matière

annihilée; E, l'énergie libérée en ergs; V, la vitesse de la lumière en centimètres par seconde.

L'énergie émise par les étoiles n'aurait-elle pas cette origine? C'est ce que pense Jean Perrin qui, en 1919, souligne que la réaction libère 35 fois plus d'énergie, à masse égale, que les meilleures radioactivités. Restait à fixer le mécanisme de la transformation; les expériences de transmutation opérées dans les laboratoires en fournirent la clé.

On sait que l'Homme réalise, depuis vingt ans environ, le vieux rêve des alchimistes et transforme les éléments les uns dans les autres. Il y est parvenu en bombardant les noyaux avec des projectiles puissants qui furent, d'abord, des noyaux d'Hélium issus des radioactivités, puis des noyaux d'Hydrogène accélérés par des champs électriques. Enfin, et depuis peu, des neutrons sont utilisés. C'est grâce à leur emploi que la bombe atomique fut obtenue. Pour la bonne compréhension du sujet résumons rapidement les étapes les plus marquantes qui aboutirent à sa création.

En bombardant l'Uranium avec des neutrons lents ralentis par la méthode de Fermi, Mme Joliot-Curie et Savitch constatent la formation d'un radio-élément de numéro atomique 57, inférieur de presque de moitié à celui de l'Uranium, cependant que l'explosion libère, environ, 180 millions d'électron-volts par atome d'Uranium, soit près de 20 millions de millithermes par gramme de matière. Le Baryum ainsi que de nombreux autres éléments beaucoup plus légers que l'Uranium se trouvent parmi les débris de l'explosion.

Frédéric Joliot fait alors la découverte capitale suivante : La rupture d'un noyau d'Uranium s'accompagne de la projection de trois neutrons, au moins; le neutron projectile se multiplie donc, de lui-même, lorsqu'il atteint son but. Ces nouveaux neutrons, issus de l'atome qui éclate, vont pouvoir heurter d'autres noyaux et les faire exploser à leur tour; la réaction une fois amorcée va donc se propager en chaîne, à condition, toutefois, qu'elle ait lieu à l'intérieur d'une quantité suffisante d'Uranium pour que les neutrons aient des chances de rencontrer un noyau sur leur trajectoire (1). Une autre condition doit être réalisée; il faut que les neutrons soient ramenés à

(1) Il existe donc un « volume critique » au-dessous duquel la réaction ne peut se poursuivre; par contre, dans un volume supérieur au volume critique, il suffit qu'un neutron traverse ce volume pour provoquer la réaction en chaîne.

l'état de neutrons thermiques, c'est-à-dire suffisamment lents, ce qui s'obtient en ajoutant à la masse d'Uranium une certaine quantité d'un corps hydrogéné, eau lourde, paraffine, ou encore graphite.

Ensuite, on vit que la réaction en chaîne ne se propageait qu'au sein de l'isotope d'Uranium de masse atomique 235. On sait, en effet, que l'Uranium naturel est un mélange d'isotopes dont les principaux sont l'Uranium de poids atomique 238 (U_{238}) et l'Uranium de poids atomique 235 (U_{235}). L'Uranium 238 absorbe les neutrons lents produits par l'explosion de U_{235} et, par conséquent, paralyse la réaction en chaîne.

Il s'agissait donc de séparer U_{235} de U_{238} qui constitue la majeure partie de l'Uranium naturel puisque, pour 140 parties de U_{238} , on ne compte que 1 partie de U_{235} . Le problème fut résolu par deux méthodes principales, soit par l'emploi du spectrographe de masse (méthode du Dr Lawrence), soit par filtration des composés gazeux de U_{235} et de U_{238} (procédé du Dr Urey); les composés de U_{235} , plus volatils, diffusent plus rapidement que ceux de U_{238} (application de la loi de Graham).

Une autre voie s'ouvrait, d'autre part, aux chercheurs. Comme nous l'avons vu, l'atome U_{235} bombardé par des neutrons n'explose pas. Cependant, il réagit au bombardement en absorbant des neutrons et en donnant un isotope radioactif U_{239} dont la période est de 23 minutes. La désintégration de cet isotope conduit au Neptunium, élément de numéro atomique 93 qui, en 2,3 jours se transforme, lui-même, en Plutonium relativement stable et de numéro atomique 94. Or, ce nouvel élément présente la réaction en chaîne sous l'action de neutrons lents, d'où sa préparation et son emploi dans la bombe atomique.

Demandons-nous, maintenant, si le processus de désintégration de l'Uranium qui fournit, dans la bombe atomique, une quantité prodigieuse d'énergie, peut être appliqué au Soleil et aux étoiles ?

Certainement non !

Dans la bombe atomique, en effet, on a rassemblé artificiellement, en un volume suffisamment grand, une substance spéciale qui est très dispersée dans la nature (Uranium) ou qui ne s'y trouve pratiquement pas (Plutonium) (1). Sur l'une ou

(1) Le Plutonium a été découvert dans les minerais de carnotite et de pitchblende, mais sa concentration y est extrêmement faible (une partie de Plutonium pour cent trillions de minerais).

l'autre de ces substances agissent des neutrons qui produisent la réaction en chaîne, d'où l'explosion.

Dans le Soleil ou dans l'étoile normale, où l'Uranium est rare, nous n'observons pas d'explosion. Les neutrons qui peuvent s'y former sont rapidement absorbés et de nouveaux neutrons ne sont pas engendrés ou ne le sont qu'en nombre insuffisant.

Il en résulte que les projectiles actifs à envisager sont les noyaux d'Hydrogène (protons) ou d'Hélium; leur faible charge leur permet d'atteindre le noyau vers lequel ils se dirigent sans être trop violemment repoussés. Cependant, l'Hélium doit être éliminé car la température des étoiles n'est pas assez élevée pour qu'il entre en réaction.

Par contre, l'Hydrogène est suffisamment actif aux températures considérées, aussi, c'est très vraisemblablement cet élément qui est la source de l'énergie stellaire, tout au moins pendant la majeure partie de la vie de l'étoile. C'est ce qu'avait pressenti Jean Perrin. L'Hydrogène se transformerait en Hélium et le processus s'accomplirait, par l'intermédiaire du Carbone, suivant un cycle particulier, appelé cycle de Bethe ou cycle du Carbone dont voici très succinctement le schéma :

1°) Un projectile Hydrogène pénétrerait dans le Carbone et en chasserait une charge électrique. Le noyau percuté resterait du Carbone (isotope 13).

2°) Le Carbone 13, frappé à son tour par un noyau d'Hydrogène qui se fixe, deviendrait de l'Azote.

3°) Cet Azote, bombardé, ensuite, par un projectile Hydrogène qui s'installe, en chassant, à nouveau, une charge électrique, deviendrait l'isotope 15 du même élément.

4°) L'Azote 15, assailli par un quatrième proton, se diviserait en deux fragments, d'une part, le Carbone initial qui se retrouverait intact, et d'autre part, un noyau d'Hélium qui serait ainsi édifié aux dépens de quatre noyaux d'Hydrogène.

A chaque transformation, de l'énergie se dégage et le Carbone restitué serait prêt à un nouveau cycle; il ne servirait que de catalyseur (1).

(1) Dans la bombe à Hydrogène, il est probable que deux noyaux de Deutérium (Hydrogène lourd) s'unissent pour former un noyau d'Hélium et que la réaction est amorcée par des neutrons provenant d'une fission d'Uranium ou de Plutonium. De plus, le Tritium (Hydrogène super-lourd) intervient vraisemblablement comme réactif entre l'Uranium et le Deutérium, le premier de ces éléments jouant le rôle de « détonateur » et le second celui de « explosif ».



PLANCHE I

Nébuleuse Spirale Messier 104, de la Grande Ourse.
Celle spirale est vue de face.
(Châssis de l'Observatoire de Paris, Station de l'observatoire.)

Ce qui donne une grande force à cette conception c'est que les quatre stades du cycle de Bethe ont été observés au laboratoire; leur rendement a même été déterminé. Bien entendu, il nous est impossible de produire les hautes températures stellaires qui engendrent les réactions dites thermonucléaires, mais nous pouvons, à l'aide de champs électriques, communiquer aux projectiles atomiques des vitesses égales ou même très supérieures à celles qu'ils possèdent dans les étoiles. De la sorte, il a été possible de vérifier expérimentalement le cycle de Bethe et de juger ce qui peut se produire à l'intérieur des étoiles.

Le calcul a, de plus, précisé que dans les conditions de température et de pression existant dans les régions centrales du Soleil ou des étoiles, le cycle de Bethe exige, en moyenne, 6 millions d'années pour s'accomplir, c'est-à-dire que chaque atome de Carbone met 6 millions d'années à provoquer la formation d'un noyau d'Hélium. Les chocs utiles sont donc peu fréquents et c'est pour cette raison qu'une étoile ne libère pas instantanément toute son énergie disponible comme cela a lieu dans la bombe atomique. Cependant, à un moment donné de son évolution, l'étoile, ainsi que nous le signalons plus loin, doit voir sa température s'élever considérablement. L'Hélium est, en effet, moins bon conducteur que l'Hydrogène. La quantité d'Hélium augmentant aux dépens de l'Hydrogène, la température centrale de l'astre s'élève, le cycle de Bethe s'accélère, ce qui provoque une nouvelle augmentation de température, et ainsi de suite. L'étoile peut alors centupler son rayonnement. Enfin, lorsque tout l'Hydrogène est épuisé, l'étoile tend à devenir un astre froid, de volume relativement faible.

Nous préciserons et compléterons, au § 4, les différents stades de l'évolution stellaire que nous schématisons ici.

La transformation de la matière en énergie étant un fait bien établi, voyons maintenant si, inversement, l'énergie peut donner naissance à de la matière, si le premier processus est réversible. Cela ne semble pas douteux, l'énergie peut se matérialiser. En bombardant une plaque de Plomb au moyen du rayonnement issu du Béryllium, rayonnement provoqué lui-même, par l'action des particules alpha, on observe, parfois, un phénomène extrêmement curieux : deux électrons, l'un positif, l'autre négatif, dont les trajectoires sont symétriques, jaillissent d'un même point. Ce fait montre qu'un quantum de rayonnement gamma (un photon gamma) de grande énergie

se transforme, lorsqu'il heurte un noyau lourd, en deux électrons de signes opposés; autrement dit, les rayons gamma, de nature ondulatoire, peuvent donner naissance à des corpuscules matériels.

De même, le méson, qui, dans la nature, résulte du choc d'une particule cosmique primaire (un proton vraisemblablement) sur un noyau d'Azote ou d'Oxygène de la haute atmosphère, est une véritable création de matière à partir d'énergie.

Sa vie est très brève, de l'ordre de deux micro-secondes, et il se désintègre selon différents processus. Certains mésons lourds donnent naissance à un méson léger qui, lui-même, se transforme en une autre particule. D'autres mésons se matérialisent en pénétrant dans le noyau de l'atome et l'énergie libérée fait exploser celui-ci. On observe, alors, une sorte d'étoile sur les plaques photographiques.

Quel que soit d'ailleurs le processus de disparition du méson, la masse de cette particule se transforme complètement en énergie.

Le méson fournit, par conséquent, un exemple remarquable de création de matière à partir d'énergie, et inversement, de production d'énergie par annihilation de matière.

Ainsi, matière et énergie ont le pouvoir de se transformer l'une en l'autre et cela, parce qu'elles ne constituent, probablement, que les deux aspects d'une même réalité plus profonde, réalité dont la nature intime nous est d'ailleurs totalement inconnue.

Sans trop forcer les faits, on peut donc envisager, de la façon suivante, l'évolution cyclique de l'Univers sensible :

L'Univers matériel se détruit et se transforme en radiations énergétiques, avec, peut-être, l'Hélium comme résidu; c'est ainsi, par exemple, que notre Soleil perd, chaque jour, en rayonnant chaleur et lumière, 360 milliards de tonnes de sa substance, et cela, depuis des millions de siècles. Ensuite, au sein des espaces cosmiques, l'énergie édifie, à partir d'elle-même, les différents corpuscules atomiques (1). Ceux-ci, groupés convenablement, engendreront des atomes matériels, puis des molécules qui, réunies, formeront des nappes gazeuses. Ces nappes, d'abord amorphes, évolueront en nébuleuses, nébuleuses obscures, stellaires, planétaires, etc., lesquelles seront le

(1) Il convient d'ajouter que, si ce processus est possible, son mécanisme nous est présentement totalement inconnu.

point de départ des différents objets célestes et le cycle recommencera (1).

Il est à remarquer que l'on trouve dans l'espace interstellaire des atomes libres, des molécules, des nébuleuses amorphes et que cette matière interstellaire semble se condenser actuellement pour donner naissance à des étoiles extrêmement raréfiées. L'hypothèse que nous proposons n'a donc rien d'in vraisemblable. Elle l'est d'autant moins que le processus de destruction de la matière ou, plutôt, de la transformation de la matière en énergie est un fait indubitable. Or, si l'Univers matériel a toujours existé, il est clair qu'il aurait depuis longtemps disparu si le second processus n'entrait pas en jeu à un moment donné de l'évolution cosmogonique.

Nous ne serions donc pas, comme l'affirment certains astronomes, les habitants d'un Monde qui agonise lentement et que rien ne peut sauver. Nous appartenons, au contraire, très probablement, à un Cosmos qui, sans doute, peut mourir et même meurt progressivement, mais à un Cosmos qui possède, dans l'énergie interne de ses constituants matériels, le moyen de renaitre continuellement de lui-même, selon un rythme immense dont la durée nous échappe, car ce rythme dispose, pour s'exercer, de l'éternité (2).

Voilà, bien entendu, une esquisse plutôt qu'un tableau, les données actuelles étant insuffisantes pour résoudre le problème des transformations, à l'échelle cosmique surtout, de la matière en énergie, et particulièrement, de l'énergie en matière (3).

(1) Cependant, on ne voit pas très bien ce que devient l'Hélium dans un Univers cyclique. Pour le moment, en effet, cet élément apparaît comme une sorte de « scorie » inutilisable.

(2) L'hypothèse d'un Cosmos éternel n'est pas incompatible avec les notions d'échelle courte ou longue du temps cosmique dont il est question au § 4. En effet, lorsque nous parlons d'un Univers éternel, nous envisageons le Cosmos en soi, indépendamment de ses apparences. Par contre, lorsque nous discutons sur l'âge de l'Univers, nous ne cherchons nullement à déterminer l'époque d'une hypothétique création qui aurait tiré le Cosmos du néant, mais nous nous efforçons de fixer « l'âge » de certains de ses aspects (étoiles, galaxies, univers einsteinien) qui ont eu un « commencement ».

(3) Nous avons déjà exprimé, il y a quelque dix ans, les idées que nous développons dans ce paragraphe. Dans la revue médicale « Nature » du 13 juin 1936, nous écrivions en effet : « L'Univers matériel se détruit et se transforme en lumière et en différentes radiations. Ensuite, au sein des espaces cosmiques, la lumière édifie des atomes matériels à partir d'elle-même... »

Or, nous sommes heureux de trouver, dans le très bel ouvrage de Louis de Broglie, « Matière et Lumière », des suppositions qui appor-

2. L'Expansion de l'Univers

Précisons d'abord ce terme, l'Univers.

La Terre que nous habitons fait partie d'un ensemble de planètes qui tournent autour du Soleil. A partir de l'astre central, ces planètes sont : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, et enfin Pluton, découvert récemment. Entre Mars et Jupiter, gravitent un grand nombre de planètes minuscules, les astéroïdes; on en connaît actuellement plus de 1.500. De plus, une très petite planète, de caractère exceptionnel, décrit autour du Soleil une orbite dont le périhélie est à l'intérieur de l'orbite de Mercure et l'aphélie à l'extérieur de l'orbite terrestre.

Tous ces astres, Soleil compris, constituent le « Système solaire ». Lui appartiennent, également, la très grande majorité des comètes et quelques essaims d'étoiles filantes qui circulent, en général, sur des orbites très excentriques.

La distance de la Terre au Soleil est de 149.000.000 kilomètres. La lumière, qui parcourt 300.000 kilomètres à la seconde, ne met pas moins de 8 minutes 18 secondes pour franchir cet espace.

Pluton, situé aux confins du Système solaire, est à 5.001.300.000 kilomètres du Soleil.

Au delà du Système solaire, se trouvent les étoiles. L'une des plus rapprochées de nous est l'étoile Proxima du Centaure qui se situe à 40.000 milliards de kilomètres du Système solaire. Sa lumière met 4 ans 1/2 pour nous parvenir. Les autres étoiles sont beaucoup plus éloignées; pour certaines d'entre elles, leur lumière met un siècle, deux siècles, etc., pour venir jusqu'à nous. Les plus lointaines sont à environ 100.000 années-lumière, l'année-lumière étant l'espace parcouru en un an par le rayon lumineux.

Si nous pouvions observer, de très loin, l'ensemble des étoiles, nous verrions qu'elles se groupent en une sorte de

tent le plus sérieux appui à l'hypothèse que nous formulons au sujet et que nous reprenons ici. Voici, en effet, ce que l'on peut lire dans le magistral ouvrage de l'illustre physicien :

« Nous pouvons supposer que la lumière, d'abord seule au monde, a, peu à peu, engendré, par condensation progressive, l'Univers matériel. Et peut-être, un jour, quand les temps s'achèveront, l'Univers se dissoudra-t-il de nouveau en lumière... »

gigantesque lentille dont le diamètre égale, cinq à six fois, l'épaisseur. Cette formidable agglomération d'étoiles, c'est la Galaxie. D'après des estimations récentes, la Galaxie renferme, au moins, trente milliards de soleils qui sont autant de centres de force et d'énergie. Ses dimensions sont telles qu'un rayon lumineux mettrait 100.000 années (1) pour aller d'une extrémité à l'autre. Il nous semble opportun de rappeler ici que le rayon lumineux parcourt 300.000 kilomètres en une seconde, 600.000 kilomètres en deux secondes, etc.

Notre étoile, le Soleil, qui n'est qu'un atome de la Galaxie, n'occupe aucune place prépondérante dans ce foisonnement d'astres. Il se déplace dans cette immensité en emportant ses

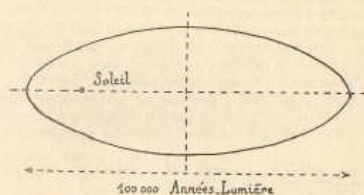


FIG. 2. — Schéma de la Galaxie. Son diamètre est évalué à 100.000 années-lumière et son épaisseur à 15.000 années-lumière. Le Soleil se trouve, approximativement, aux $\frac{2}{3}$ d'un rayon, à partir du centre. Des étoiles géantes vagabondes et des amas globulaires gravitent, au-delà des limites du disque. C'est ainsi que certains amas se situent à 80.000 années-lumière du centre de la Voie Lactée.

planètes, à la vitesse de 20 kilomètres par seconde, vers un point situé entre Véga et l'étoile μ de la constellation d'Herzule.

La Galaxie, elle aussi, n'est pas immobile. Elle fait un tour sur elle-même en 300 millions d'années et entraîne, dans

(1) Vers 1916, Shapley assignait à la Voie Lactée un diamètre de 200.000 années-lumière, mais cet ordre de grandeur était trop élevé. En effet, dans l'évaluation des distances, le jeune astronome du M^t William ne tenait pas compte d'un facteur alors inconnu, le brouillard cosmique. Ce brouillard, essentiellement constitué de poussières, de molécules, d'atomes, d'ions et d'électrons, remplit la Galaxie et altère la lumière des astres qui paraissent plus éloignés qu'ils ne le sont en réalité.

l'infini, ses deux milliards d'étoiles, à la vitesse de 600.000 mètres par seconde (1).

La Galaxie, c'est notre Univers (fig. 2).

Au-delà de la Galaxie existent d'autres Univers analogues. Ce sont les nébuleuses Spirales (Pl. I). La plus rapprochée de nous est à 850.000 années-lumière. Si, comme l'a dit un astronome contemporain, le premier Homme avait envoyé un message, par radio, à toutes les nébuleuses, aucune ne l'aurait encore reçu.

Les autres nébuleuses Spirales sont beaucoup plus lointaines. La nébuleuse d'Andromède est à 950.000 années-lumière; nous la voyons aujourd'hui, non comme elle est actuellement, mais comme elle était vers l'ère tertiaire. L'énorme distance qui nous en sépare signifie, également, que si la nébuleuse d'Andromède disparaissait aujourd'hui, elle serait encore visible pour la Terre pendant 950.000 ans.

La nébuleuse M. 81 de la Grande Ourse est à 1.600.000 années-lumière. Dans Pégase, on trouve 162 nébuleuses à plus de 100 millions d'années-lumière. Enfin, on connaît des Univers qui voguent dans l'infini à 150 et même 200 millions d'années-lumière.

On a dénombré, jusqu'alors, plus d'un million de Spirales. D'après Eddington, leur nombre total doit être de l'ordre de 100.000.000.000.

Nous appellerons *Univers*, l'ensemble des nébuleuses Spirales visibles ou invisibles et de l'espace qui les contient.

Et maintenant, nous voici arrivés à la question qui nous intéresse plus particulièrement, celle de l'expansion de l'Univers.

« La première allusion à un Univers en expansion, écrit Eddington, se trouve dans un article publié en novembre 1917 par le professeur de Sitter. »

Dans cet article, le savant directeur de l'Observatoire de Leyde affirmait que, d'après la théorie de la relativité, il fallait s'attendre à voir les objets célestes les plus lointains s'éloigner de notre Galaxie.

(1) La Galaxie présente, en fait, une rotation différentielle. Elle ne tourne pas, d'une seule pièce, comme un corps solide; les étoiles voisines du centre tournent beaucoup plus vite que celles de la périphérie. Le Soleil, étoile marginale, accomplit un tour complet en 200 millions d'années.

L'observation confirma bientôt ces vues théoriques.

En déterminant la vitesse de quelques nébuleuses Spirales, on constata, en effet, que ces Univers s'éloignent de nous. De plus, on vit que leur vitesse d'éloignement était proportionnelle à leur distance. Cette dernière découverte fut faite par Hubble en 1929. D'après ce savant, la vitesse de récession des Spirales est de 550 kilomètres par seconde pour une distance correspondant à 3,26 millions d'années-lumière (1 mégaparsec); cela signifie qu'une nébuleuse située à 3,26 millions d'années-lumière doit avoir une « vitesse de fuite » égale à 550 kilomètres à la seconde, qu'une Spirale, distante de nous de 32,6 millions d'années-lumière, s'éloigne de notre Galaxie à raison de 5.500 kilomètres par seconde, et ainsi de suite.

Il résulte de cette loi que les nébuleuses très éloignées doivent fuir la Galaxie à une vitesse prodigieuse. C'est ce que l'on a constaté.

Ainsi, un groupe de nébuleuses situé dans la constellation des Gémeaux, à 1.505.000.000 années-lumière, s'éloigne avec une vitesse de 25.000 kilomètres à la seconde, vitesse évidemment inconcevable, mais mesurée. Enfin, on a découvert, récemment, une nébuleuse située à quelque 240 millions d'années-lumière de nous, qui s'enfuit à raison de 42.000 kilomètres par seconde. Cette vitesse qui atteint le 1/7 de celle de la lumière est évidemment difficile à imaginer pour un objet matériel; en effet, si cette nébuleuse pouvait parcourir l'équateur terrestre, elle ferait le tour de notre globe en moins d'une seconde.

Ajoutons que le télescope géant de 5 m d'ouverture du Mont Palomar est susceptible de déceler les Galaxies qui se trouvent à un milliard d'années-lumière du Soleil. Si nous admettons la loi de récession, la vitesse de fuite de ces nébuleuses doit être de l'ordre de 100.000 km/sec.

Nous pouvons nous demander pourquoi les nébuleuses Spirales fuient notre Galaxie. Serions-nous, dans l'Univers, dans une situation spéciale ?

Eddington répond d'une façon fort pertinente à cette question.

« L'ensemble avec lequel les Spirales nous fuient, écrit-il, fait penser à une aversion aiguë que nous leur inspirerions. Il est à se demander pourquoi on nous éviterait comme si la peste régnait dans la région de l'Univers où se trouve notre système. Mais, c'est là une opinion un peu hâtive, et il n'y a, réellement,

aucune raison de penser que l'animosité soit spécialement dirigée contre notre Galaxie. S'il arrivait à cette salle de conférences de se dilater au double de ses dimensions actuelles, les sièges s'écartant les uns des autres en proportion, vous feriez la remarque que tout le monde s'est éloigné de vous. Votre voisin, qui était à 2 pieds de vous, est maintenant à 4 pieds; cet homme tout là-bas, qui était à 40 pieds, est maintenant à 80 pieds. Ce n'est pas vous que l'on évite. Chacun de vous éprouve la même impression. Dans une dispersion ou expansion d'ensemble, tout individu constate que tout autre individu s'éloigne de lui. La loi d'une expansion générale uniforme est que chaque individu s'éloigne de vous à une vitesse proportionnelle à la distance qui vous sépare de lui, ce qui est précisément la loi que nous observons dans le mouvement de récession des nébuleuses Spirales. »

En bref, nous dirons avec Eddington que la fuite des nébuleuses Spirales ne doit pas être considérée comme un mouvement d'éloignement par rapport à notre Galaxie. Ce qui se produit réellement, c'est un éparpillement général n'ayant aucun centre de dispersion et c'est ce phénomène qui a reçu le nom d'*Expansion de l'Univers*.

Si nous admettons la réalité de cette expansion, au reste discutée et mise en doute par certains astronomes, nous pouvons penser qu'à un moment donné, l'Univers a dû se contracter, sinon ses dimensions actuelles seraient infiniment plus grandes, sinon infinies, ce qui n'est pas. De plus, en calculant le temps qu'il a fallu aux nébuleuses éloignées pour parcourir la distance qui les sépare actuellement du système solaire, on trouve une valeur voisine de quelques milliers de millions d'années alors que les étoiles ont vraisemblablement des âges proches de millions de millions d'années (1); nous avons là, un argument sérieux, en faveur de la contraction. D'ailleurs, il n'est pas dit que l'Univers ne se contracte pas actuellement, car ce que nous observons aujourd'hui s'est produit il y a des milliers d'années. Quoi qu'il en soit, le phénomène de dilatation semble nécessiter, logiquement, celui de contraction, et si nous reconnaissons comme vrai ce double processus, l'Univers tout entier nous apparaîtra soumis à une sorte de gigantesque pulsation.

Et voici qui est bien propre à nous étonner, la tradition

(1) Voir, plus loin, la remarque (2) du § 4.

initiatique hindoue, si nous en croyons Maeterlinck, n'ignorait pas ce rythme prodigieux qu'elle associait, d'ailleurs, à celui, plus grandiose encore, de l'annihilation et de la régénération de la matière, précédemment envisagé.

« Elle nous apprend, écrit le prestigieux auteur du « Grand Secret », que le Cosmos, manifestation visible de la cause inconnue et invisible, n'a jamais été et ne sera jamais qu'une suite ininterrompue d'expansions et de contractions, d'évaporations et de condensations, de sommeils et de réveils, d'inspirations et d'expirations, d'attractions et de répulsions, d'évolutions et d'involutions, de matérialisations et de spiritualisations, « d'intériorisations et d'extériorisations », comme dit le docteur Jaworski qui a retrouvé, en biologie, un principe analogue.

« La cause inconnue se réveille, continue Maeterlinck, et durant des milliards d'années, les Mondes irradiant, se dispersent, s'épandent, se dilatent dans l'espace; elle se rendort, et les mêmes Mondes, durant des milliards d'années, accourent de tous les points de l'horizon, s'attirent, se concentrent, se contractent et se coagulent, pour ne plus former, sans périr, car rien n'est périssable, qu'une masse unique qui rentre dans la cause invisible ! »

3. Rayons Cosmiques

L'étude des rayons cosmiques est encore à ses débuts, puisque, vers 1910, ces radiations nous étaient totalement inconnues. Il n'est donc pas étonnant que les données susceptibles de nous intéresser ici, soient peu nombreuses, fragmentaires souvent, contradictoires parfois. Quelques-unes, cependant, méritent d'être insérées dans un travail sur les rythmes; elles ont trait, surtout, aux propriétés des radiations en question; avant de les noter, voyons les opinions de quelques savants sur l'origine des rayons cosmiques. Nous constaterons qu'elles sont très différentes.

D'après Millikan, les rayons cosmiques proviendraient des espaces interstellaires et seraient les témoins de la formation des atomes. Par contre, pour le Dr Zwicky, ces rayons se produiraient au cours de la désintégration de la matière. Le Dr Enrico Fermi suppose qu'il existe, dans l'espace interstellaire, des nuages de poussières magnétiques dont les dimensions seraient de l'ordre d'une année-lumière. Des protons, provenant des étoiles rencontreraient ces nuages, mais ceux-ci étant, eux-

mêmes, en mouvement, imprimeraient, par suite de la loi de l'équipartition de l'énergie, une certaine accélération aux particules incidentes. Il y aurait donc, dans ce phénomène, une cause lente d'accélération au sein de la matière cosmique et il se formerait, peu à peu, des rayons de grande énergie.

Pour le Dr Blackett, les rayons cosmiques résulteraient « de la nature de l'espace et du temps » comme le passage au rouge de la lumière des nébuleuses lointaines, ou bien, seraient « une survivance de la jeunesse du globe terrestre ». De son côté, le Dr Spitzer, astronome de l'Université de Princeton, prétend qu'ils proviennent des Super Novae.

Enfin, le physicien français Dauvillier rattache l'origine de la radiation aux phénomènes d'émission électronique du Soleil.

Selon cet auteur, des électrons et des protons animés d'une grande vitesse donnent, en pénétrant dans notre atmosphère, un rayonnement gamma de très courte longueur d'onde; ce rayonnement, à son tour, agissant sur les atomes de l'air produit un électron et un positon; la vie de cette dernière particule est brève; par contre, l'électron freiné dans sa course par l'atmosphère est à l'origine d'un rayonnement, source lui-même de nouveaux électrons et positons, et le processus continue ainsi. De plus, le rayonnement cosmique est à l'origine d'une composante importante, déjà signalée, l'électron lourd ou méson (1).

L'énergie que transportent les particules cosmiques primaires est énorme, puisqu'elle s'exprime par milliers et même par millions de milliards d'électron-volts. Il en résulte que l'on peut, à l'aide de ces particules, provoquer des désintégrations atomiques impossibles par tout autre moyen, même à l'aide de la radioactivité artificielle. Ainsi, jusqu'à une date récente, les mésons qui ne peuvent être produits que par une puissante source d'énergie n'avaient jamais été observés dans les phénomènes habituels de transmutation ou de fission qui ne mettent pas en jeu des énergies suffisantes, cependant considérables (2). Par contre, la somme d'énergie véhiculée par les

(1) Les mésons forment les 2/4 du rayonnement cosmique observable au niveau de la mer. Ils sont positifs ou négatifs.

(2) Ce n'est qu'en début de 1948 qu'ils furent obtenus avec le synchro-cyclotron de Bekeley qui permet de communiquer à des particules alpha une énergie de 250 millions d'électron-volts.

En fait, on les obtenait déjà, avec cet appareil, dès 1937, mais ils n'avaient pas été observés, faute d'un dispositif approprié de détection. Un jeune physicien de Bristol, Lattes, les mit en évidence, en 1946, par l'emploi d'émulsions photographiques épaisses et concentrées.

rayons cosmiques ne serait pas aussi importante que le croyait Millikan qui pensait qu'elle était de même ordre de grandeur que les autres énergies rayonnées réunies. Elle équivaudrait, à peu près, à l'énergie lumineuse reçue des étoiles. Remarquons, toutefois, que si le rayonnement cosmique est un phénomène universel, l'énergie qu'il dispense pourrait être de l'ordre de grandeur de l'énergie de masse de l'Univers tout entier.

Millikan avait cru en la constance du rayonnement, quels que soient le jour et l'heure, et en son uniformité, quelle que soit la position géographique du lieu d'observation.

En fait, si le rayonnement cosmique est probablement indépendant de la position du Soleil, de la Voie Lactée, des Nébuluses et des Étoiles, il n'est pas douteux qu'il varie avec la latitude. Enfin, fait particulièrement intéressant, à notre point de vue, le rayonnement cosmique est peut-être rythmique.

Les professeurs J. Schonland, B. Delatitsky et P. Gaskell ont, en effet, publié des graphiques qui montrent que l'intensité du rayonnement cosmique varie selon une sinusoïde avec un maximum à environ 24 heures du temps sidéral local et un minimum à 12 heures. La variation paraît être un effet vrai du temps sidéral, car elle se manifeste simultanément dans les deux hémisphères.

Voilà les principales propriétés de la radiation cosmique. Demandons-nous, maintenant, si cette radiation agit sur les êtres animés.

Il est un fait incontestable, c'est que les rayons cosmiques traversent la plupart des êtres vivants (exception doit être faite pour les êtres des grandes profondeurs) et détruisent, à chaque instant, un grand nombre de leurs atomes constitutifs. Cette destruction est-elle un bien ou un mal? Est-elle un facteur de santé ou de maladie?

La physiologie nous enseigne qu'une modification d'un état résulte d'une variation de l'agent excitant. Il s'agirait donc de savoir, d'une part, si la radiation cosmique présente des fluctuations en fonction du temps, différentes du rythme journalier déjà signalé et si, d'autre part, on peut observer des modifications d'états parallèles à ces fluctuations.

Comme les variations possibles du rayonnement cosmique nous sont, actuellement, à peu près inconnues, nous ne pouvons pas répondre, dans un sens quelconque, aux questions posées plus haut.

Notons, toutefois, que cette conclusion n'est pas celle de

tous les physiologistes. Lakhowsky, en particulier, pense avoir établi une relation de cause à effet entre le rayonnement cosmique et le cancer.

Pour cet auteur, l'organisme vivant serait un remarquable collecteur et émetteur d'ondes à haute fréquence (1) et la vie et l'état de santé résulteraient de l'équilibre dynamique entre l'action des ondes captées et celle des ondes émises. La mort et la maladie seraient, par contre, la traduction d'un déséquilibre oscillatoire.

Où donc l'organisme prend-il l'énergie extérieure oscillatoire? Lakhowsky répond: « Dans les radiations cosmiques. »

Or, continue Lakhowsky, « le cancer est dû à une action trop poussée des radiations cosmiques. J'en trouve la preuve dans ce fait: en étudiant attentivement les statistiques de la mortalité par le cancer, je suis arrivé à cette conviction que le nombre des cas constatés de la terrible affection était en étroit rapport avec la nature physique et chimique du sol qui, suivant sa constitution, absorbe ou réfléchit les radiations cosmiques, ce qui, dans ce dernier cas, provoque le déséquilibre cellulaire, et, à sa suite, le cancer. » Les cas de cancer sont nettement plus nombreux, poursuit l'auteur, là où le sous-sol est dur, très dense, obligeant les ondes à revenir à la surface, que là où il est perméable (sables, grès, graviers) permettant une absorption des ondes en profondeur.

Développant son idée, Lakhowsky pense qu'on pourrait diminuer considérablement les cas de cancer dans les régions où ils sont fréquents, en neutralisant l'excès de radiation cosmique; il suffirait de l'absorber par des collecteurs d'ondes (sortes d'antennes métalliques, analogues aux paratonnerres, et tendues à l'extérieur des habitations). Ainsi, par ce moyen, on se protégerait du rayonnement cosmique, et par conséquent, du cancer, comme on se protège de la foudre!

Nous ne savons ce que l'avenir retiendra de cette conception quelque peu audacieuse. En tout cas, nous pouvons lui

(1) P. Ausubert a montré que beaucoup de phénomènes biologiques (multiplication cellulaire, contraction d'un muscle, fonctionnement d'un nerf, etc.) sont accompagnés d'une émission de photons de courte longueur d'onde, mais le phénomène n'est pas spécifiquement vital, puisqu'un très grand nombre de réactions chimiques émettent un rayonnement analogue (voir § 26). Certains phénomènes physiques (déshydratation de sels, cristallisations, application d'un clasp électrique aux semi-conducteurs, action des rayons X sur les gaz, etc.) produisent également des photons.

accorder le bénéfice du préjugé favorable en attendant le verdict de l'observation et de l'expérience (1).

Nous terminerons cette question du rayonnement cosmique en signalant que quelques biologistes avaient, en ces dernières années, hasardé l'opinion que les mutations végétales et animales pourraient bien résulter de la radioactivité cosmique. Cette hypothèse a été infirmée par l'expérience. Au cours de l'ascension stratosphérique de l'U.R.S.S.I., le professeur H. Friesen, de l'Institut de Biologie expérimentale de Moscou, fit soumettre, pendant 2 heures, les mouches *Drosophila melanogaster* à l'action de la radiation cosmique dont l'intensité était alors centuplée. Le résultat fut négatif. Ces mouches ne présentèrent, par la suite, pas plus de mutations que les mouches témoins restées à terre. Des expériences analogues, réalisées, ensuite, par les Américains, aboutirent à des résultats également négatifs.

Radiations électriques de la Voie Lactée. — La Voie Lactée, c'est-à-dire la bande faiblement lumineuse qui ceint la voûte céleste le long d'un grand cercle et qui n'est autre chose que la Galaxie vue dans la direction de son plan, émet des radiations électriques de longueurs d'ondes diverses et selon un certain rythme.

Ces émissions ont été captées, pour la première fois, par Jansky, en 1933; ensuite, elles furent systématiquement étu-

(1) En fait, si nous connaissons assez bien les processus histologiques de la cancérisation, si nous savons comment évolue cliniquement la tumeur maligne, nous ignorons encore presque tout des causes nécessaires et efficientes qui provoquent la transformation de la cellule normale en cellule cancéreuse.

Les opinions les plus diverses ont été soutenues. Pour certains physiologistes, le cancer a une cause humorale alors que, pour d'autres, les néoplasies ont une origine purement locale. L'affection serait de nature parasitaire pour les uns, alors que d'autres incriminent uniquement la cellule et son potentiel héréditaire. Auguste Lamière prétend que « le cancer est la maladie des cicatrices » et Delbet affirme qu'il est dû à une carence magnésienne.

Les controverses ne sont pas près de s'éteindre, et c'est, précisément, parce que la lumière n'est point faite que les travaux sur les tumeurs malignes se sont multipliés, à tel point que l'on se trouve en présence d'une littérature quelque peu chaotique où il est difficile de séparer le bon grain de l'ivraie.

L'hypothèse de Likhovokv s'ajoute donc aux nombreuses conceptions théoriques concernant la cancérose. Nous la signalons, non pas parce que nous lui attribuons une valeur exceptionnelle, mais parce que, d'une part, elle rentre dans le cadre de notre étude sur les rythmes, et parce que, d'autre part, nous pensons que le cancer résulte, vraisemblablement, de causes diverses pouvant agir, soit isolément, soit simultanément.

diées par Reber en 1940, puis par Franck en 1943. Ces auteurs ont montré qu'il existe un maximum d'émission dans le Sagittaire ou, plus exactement, vers 320° de longitude galactique, un autre, moins important, dans le Cygne et un minimum vers 210° . Le maximum d'énergie serait, d'après Reber, de 10^{-4} erg par degré carré, par seconde et par mégacycle d'intervalle de fréquence. Hey, Parsons et Phillips qui ont étudié le maximum situé dans le Cygne ont constaté en ce qui concerne une région de 2° environ que les ondes émises subissent des fluctuations de l'ordre de 15 %, selon une période de 12 secondes. Les émissions de la Voie Lactée, tout au moins pour la région précitée, sont donc rythmiques. En 1940, on ne connaissait que 7 radio-sources, mais Ryle en a décelé récemment une cinquantaine, dont certaines en dehors de la Voie Lactée. Toutes ces sources semblent ponctuelles. On peut donc admettre qu'elles proviennent d'étoiles rayonnant peu dans le visible et intensément dans le domaine des ondes radioélectriques. Aucune recherche n'a encore été faite concernant leur influence possible sur les êtres vivants.

4. Evolution des Etoiles

D'après N. Lockyer et Russell, toute étoile évolue : elle naît, se développe et meurt. Voici résumées, ce que seraient les différentes phases de son évolution (fig. 3).

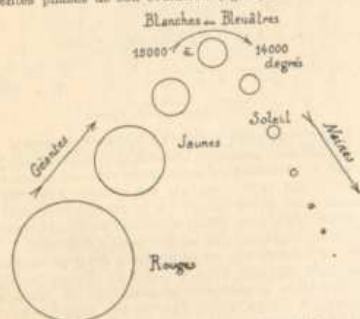


FIG. 3. — Schéma de l'évolution stellaire.

En son stade initial, l'étoile serait constituée par une masse nébuleuse, froide et de faible densité. Sous l'effet des forces gravifiques, les gaz se condensent, l'étoile s'échauffe et se contracte; elle atteint le stade d'étoile rouge géante à température relativement faible. C'est le cas, par exemple, pour Antares, 113 millions de fois plus volumineuse que le Soleil. La contraction se poursuivant, l'étoile s'échauffe et passe par les stades successifs, ascendants, d'étoile jaunâtre (exemple : Aldébaran, la Polaire et α du Cygne), puis bleuâtre, avec des températures très élevées atteignant 30.000 degrés. A ce point culminant, se trouvent les étoiles du type taurien dont la température dépasse 40.000 degrés. La partie ascendante de la

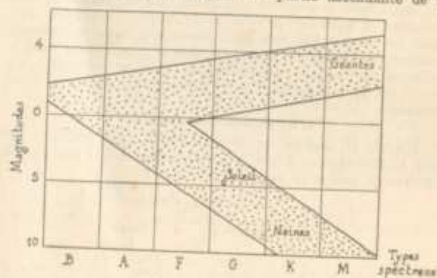


FIG. 4. — Diagramme de Russell.

courbe stellaire est alors gravie. La descente commence. L'astre se refroidit sans cesser de se condenser; il redevient jaune, puis rouge et finalement s'obscurcit. A ces différents stades se placent Sirius et Procyon qui commencent à se refroidir, Arcturus et notre Soleil qui sont à la fin de leur maturité et, enfin, l'étoile de Barnard qui se situe tout au bas de la courbe; cette dernière étoile rayonne encore, mais faiblement.

Ainsi, au point de vue température, la vie d'une étoile comprendrait deux périodes, l'une à température ascendante, l'autre à température descendante, séparées par un intervalle où la température atteignant sa plus grande valeur resterait à peu près stationnaire.

De chaque côté de ce maximum, on rencontrerait, sur chacune des branches de la courbe d'évolution, deux points où la température est la même; l'étoile repasserait donc, alors qu'elle vieillit, par les mêmes températures que son ancêtre avait dans sa jeunesse; mais en ces moments d'égale température, l'astre

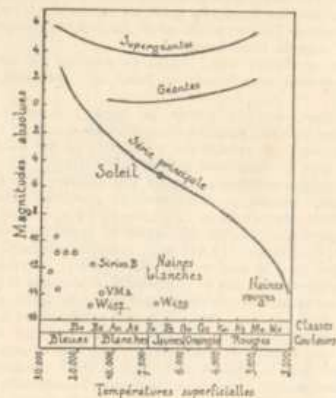


FIG. 5. — Diagramme moderne de Hertzsprung-Russell. Les étoiles géantes se divisent en deux catégories : les Géantes proprement dites, 100 fois plus lumineuses que le Soleil et les Supergéantes, environ 4 000 fois plus lumineuses que notre étoile.

serait bien dissimilable à lui-même, nébuleuse d'abord, soleil ensuite, et enfin, objet de rayonnement faible ou nul.

Le second point caractéristique de cette évolution est que la composition de l'étoile varierait avec son âge, et par conséquent, avec sa température. Effectivement, on a pu, d'après leur température, diviser les étoiles en 6 classes fondamentales comprenant, chacune, 10 sous-groupes (fig. 4 et 5). Ce sont : les étoiles B ou étoiles à Hélium qui sont les plus chau-

des, les étoiles A à Hydrogène, moins chaudes, les étoiles F à Calcium, à température encore moins élevée, les étoiles G du type solaire qui se caractérisent essentiellement par la présence de nombreux métaux et par la diminution du spectre ultra-violet, les étoiles K riches en métaux et pauvres en rayonnement ultra-violet, la température, dans ces deux dernières classes, s'abaissant encore, et enfin, les étoiles M caractérisées par la présence d'oxyde de Titane et par une température peu élevée, voisine de 3.000 degrés.

Après ce dernier état, l'étoile s'avancerait lentement et progressivement vers l'extinction finale qui, pour elle, est la mort.

Cependant, quelques étoiles, la plupart, disent certains astronomes, seraient assurées d'une nouvelle existence plus ou moins éphémère en passant par le stade Nova que nous envisageons dans le paragraphe suivant.

La physique moderne a apporté à ce schéma, naguère universellement adopté, de nombreuses et profondes retouches. Tout d'abord, ainsi que nous l'avons signalé à propos du Soleil, il est apparu que l'énergie des étoiles ne pouvait provenir de leur seule contraction. D'autre part, notre astre central n'évoluerait pas dans le sens indiqué par Russell : il s'échaufferait présentement au lieu de se refroidir, si bien que la vie sur la Terre serait menacée de disparaître par le feu plutôt que par le froid, cela, au reste, dans un avenir extrêmement lointain.

Le point de départ de la théorie actuelle, soutenue, en particulier, par Gamow et ses collaborateurs est néanmoins le même que dans la théorie de Russell. L'étoile commencerait par la condensation d'une masse nébuleuse excessivement ténue. Par l'action de ses propres forces gravifiques, l'astre se contracterait et la contraction élèverait sa température. Lorsque celle-ci serait suffisamment élevée, les réactions thermonucléaires apparaîtraient. L'étoile serait alors au stade d'étoile rouge.

La première réaction qui se produirait serait la formation du Deutérium (Hydrogène lourd) par combinaison de deux protons. Elle débiterait pour une température centrale voisine de 500.000 degrés C, laquelle serait atteinte au bout de quelques millions d'années à partir du stade initial.

L'énergie dégagée par la formation du Deutérium ne compenserait cependant pas l'énergie rayonnée et la contraction continuerait à se produire. Dans ces conditions, la température



PLANCHE II
Tache solaire observée par l'auteur, en mars 1914, avec une lunette de 10 cm d'ouverture. Diamètre de la tache : environ 100.000 km. A droite, la Terre, à l'échelle du dessin.

de l'étoile finirait par atteindre, au centre, 1 million de degrés. A cette température, le Deutérium se combinerait à l'Hydrogène pour donner de l'Hélium avec émission de rayons gamma. L'énergie libérée serait alors suffisante pour équilibrer l'énergie rayonnée et la contraction s'arrêterait pendant tout le temps que durerait cette réaction, c'est-à-dire quelques millions d'années.

Après la disparition du Deutérium, la contraction reprendrait pendant quelques dizaines de milliers d'années seulement, la température centrale s'élèverait jusqu'à trois millions de degrés environ et de nouvelles réactions thermonucléaires se déclencheraient, en particulier, l'action des protons sur le Lithium, le Beryllium et l'isotope lourd du Bore. La durée de ces réactions serait de l'ordre d'une dizaine de millions d'années. Pendant ce temps, la contraction cesserait.

Lorsque les éléments précédents seraient devenus rares, la contraction reprendrait et provoquerait, par suite d'une nouvelle élévation de température, la combinaison des protons avec l'isotope léger du Bore. Le centre de l'étoile atteindrait, alors, 15 à 20 millions de degrés. Les éléments légers (Li, Be, B) n'existant pratiquement plus, le cycle du Carbone interviendrait à ce moment. Il se résume, comme nous l'avons dit à propos de l'origine de la chaleur solaire, en la transformation d'Hydrogène en Hélium avec libération d'énergie. La durée de ce cycle serait, environ, 100 milliards d'années. L'étoile appartiendrait à ce moment, à la série principale.

L'Hydrogène consommé, l'étoile arriverait au dernier stade de son évolution; elle recommencerait à se contracter comme dans la première partie de son existence et brillerait par l'effet de sa contraction. Sa densité deviendrait de plus en plus élevée et elle tendrait, sans y parvenir nécessairement, vers le stade Naine blanche (1). Chandrasekhar a montré, en effet, que l'état de Naine blanche n'est possible que pour les astres

(1) Les Naines blanches sont des étoiles assez énigmatiques, caractérisées par un faible rayon, une température superficielle élevée et une remarquable densité. Celle-ci peut atteindre, en effet, 10×10^8 , ainsi la densité de l'étoile Wolf 457 est à $\times 10^8$, ce qui signifie que la masse de 1 cm³ de la substance de cette étoile vaut 80 tonnes. Dans ces étoiles, la matière se trouve dans un état dégénéré. Un gaz est dit complètement dégénéré quand tous les états quantiques inférieurs sont occupés; la matière est alors incompressible et elle ne peut plus émettre ni chaleur ni lumière puisque les électrons se trouvent dans l'impossibilité de descendre à un niveau inférieur.

Chez les Naines blanches, la matière dégénérée est ce qu'on appelle une étoile totalement dégénérée est une Naine noire.

dont la masse ne dépasse pas 1,5 fois celle du Soleil. Le stade Naine blanche atteint, l'étoile évoluerait, ensuite, vers le stade Naine noire, lorsque toute sa matière serait dégénérée. Au contraire, si l'étoile était trop massive pour devenir une Naine blanche, elle finirait par se fragmenter. On sait, en effet, que, conformément au principe de la conservation du moment angulaire, la vitesse angulaire de rotation d'une étoile augmente à mesure de sa contraction. Si la vitesse dépasse une certaine valeur critique, l'étoile se fragmente et ses fragments peuvent alors évoluer en Naines blanches.

En ce qui concerne les étoiles dont la vitesse de rotation est faible, la pression de radiation peut devenir suffisante pour qu'il se produise une éjection de substance au voisinage de l'astre, d'où formation possible, d'une nébuleuse dite planétaire.

Ajoutons, enfin, que selon des données récentes, l'Univers ne serait âgé que de quelques milliards d'années. Or, comme l'évolution d'une étoile, de la forme géante à la forme naine, exigerait, d'après les conceptions classiques, un temps de l'ordre de trillions d'années, les étoiles n'auraient pas encore eu le temps de vieillir réellement et leur diversité actuelle ne résulterait pas d'une différence d'âge mais d'une inégalité de masse initiale. Le schéma évolutif stellaire que nous donnons ci-dessus est donc susceptible de révision si l'hypothèse dite de « l'échelle courte » se trouve confirmée (1).

5. Les Novæ

« De temps en temps, on voit dans le ciel, écrit le professeur F.-A. Milne, une petite étoile s'enflammer en quelques heures ou quelques jours, accroître son éclat, disons peut-être vingt-

(1) Il y a une vingtaine d'années, on attribuait aux étoiles et aux Galaxies un passé environ 10.000 fois plus long que celui de la Terre, c'est-à-dire supérieur à 10^{10} ans; c'est ce que les astronomes appellent, maintenant, l'échelle longue du temps cosmique.

Or, un certain nombre de considérations tendent à suggérer que l'état présent de l'Univers n'a pu s'établir que depuis quelques milliards d'années. L'Univers, dans son ensemble, ne serait pas beaucoup plus âgé que la Terre. Cette conception est désignée sous le nom d'échelle courte du temps ou, en abrégé, « échelle courte ».

Les indications en faveur de l'échelle courte portent sur les points suivants : âge de la Terre et des météorites; rotation galactique; étude dynamique des Amas galactiques peu denses et des Amas stellaires denses; étude statistique des étoiles doubles écartées et des couples disparates; étude de la matière interstellaire; théorie de l'expansion de l'Univers; évolution des étoiles.

cinq mille fois, s'éteindre ensuite irrégulièrement, et, après quelques années, retourner à son état antérieur à l'explosion. » Un tel astre est une Nova ou étoile « nouvelle ». L'une des dernières Novae observées a été celle de la constellation d'Hercule (Nova Herculis). Le 13 décembre 1934, un astronome amateur anglais découvrit cette étoile en un point du ciel où aucun autre astre de cet éclat n'avait été vu précédemment. L'étoile devint bientôt (le 22 décembre 1934) presque aussi lumineuse que les étoiles de première grandeur, puis, après deux maxima secondaires (19 janvier, magnitude 1,8 et 22 janvier, magnitude 1,54) diminua d'éclat, d'abord le 31 janvier, et surtout, à partir du 1^{er} avril. Au début de mai, sa magnitude n'était que 13,7. L'étoile, après avoir été visible à l'œil nu, ne pouvait plus être observée qu'à l'aide de très puissants télescopes.

Signalons, également, parmi les Novae récentes, la Nova Aquila 1945, découverte le 28 août 1945, dans la constellation de l'Aigle, par M. Bertaud de l'Observatoire de Meudon, et la Nova Lacerta découverte le 23 janvier 1950 par ce même astronome dans la constellation du Léopard. La courbe de lumière de la Nova Aquila fut normale. Il est curieux de constater que deux Novae avaient déjà explosé dans cette région du ciel, à moins de 1°5 de distance de la Nova actuelle, l'une en 1899, l'autre en 1936. Cette dernière est une courbe de lumière avec plusieurs maxima secondaires, courbe assez semblable à celle de Nova Pictoris 1925. Comme elle, on vit aussi cette Nova se dédoubler. Enfin, une troisième étoile surgit encore dans le voisinage immédiat de la Nova de 1945, mais sa courbe de lumière, très erratique, la fit rejeter de la classe des Novae.

L'explosion qui provoqua la formation de Nova Lacerta 1950 eut lieu, vraisemblablement, entre le 7 et le 22 janvier 1950. En effet, la Nova ne se trouve pas sur un cliché pris le 7 janvier 1950 par M. Bertaud, mais figure comme étoile de 6^e magnitude sur une photographie obtenue le 22 janvier 1950.

Le spectre des Novae varie beaucoup pendant les phases successives d'accroissement et de diminution de luminosité. Au moment du maximum d'éclat, les lignes brillantes de l'hydrogène apparaissent, puis leur intensité diminue; elles s'effacent enfin, et à ce moment, les raies caractéristiques des nébuleuses se distinguent plus ou moins nettement.

Autrefois, le phénomène des Novae était considéré comme

rare. Maintenant, un certain nombre d'astronomes, avec le professeur Milne, pensent que toutes les étoiles passent par le stade Nova à un moment de leur évolution. L'explosion de l'étoile serait due, d'après le professeur Milne, à un état dégénéré de la matière stellaire, dans lequel les électrons conservés par l'atome occuperaient les niveaux les plus bas. A cet état, l'équilibre interne de l'étoile serait rompu et celle-ci s'effondrerait sur elle-même. En s'écroulant, elle produirait cette flamme gigantesque qui nous la rend visible.

Remarquons, toutefois, qu'à l'encontre du professeur Milne, quelques astronomes estiment, d'une part, que le stade Nova n'est atteint que par une catégorie d'étoiles très chaudes, et, d'autre part, que le processus Nova ne correspond pas à une explosion totale de l'astre; seule, une couche peu épaisse de matière interne, en état d'équilibre instable, s'affaîsserait subitement et ce tassement brusque produirait la Nova. On a calculé, en effet, qu'une étoile subissant une rapide contraction, de 1 pour 100 de son rayon libérerait assez d'énergie pour donner naissance à une Nova.

Par contre, le processus de Milne pourrait, légèrement modifié, s'appliquer aux Super-Novae dont nous allons dire quelques mots.

Ce sont des étoiles extraordinairement brillantes qui apparaissent subitement dans les nébuleuses Spirales; la Super-Nova IC 4182, par exemple, de la constellation des Chiens de chasse, présentait une luminosité équivalente à 600 millions de Soleils.

Elles libèrent une quantité prodigieuse d'énergie : la Super-Nova précitée a produit, dans les 3 mois qui ont suivi son explosion, autant d'énergie que le Soleil pourrait en fournir en 39 millions d'années. La fréquence des Super-Novae est d'environ une, par Spirale, tous les 500 ans.

Notre Galaxie, n'étant qu'une des innombrables nébuleuses Spirales qui peuplent l'Univers, doit produire des Super-Novae. Précisément, l'étoile nouvelle de Tycho-Brahé, apparue dans Cassiopée, en 1572, et qui était visible en plein midi était, probablement, une Super-Nova. Il en fut vraisemblablement de même d'une étoile que les annales chinoises et japonaises signalent en l'an 1054. Le résidu de cette Super-Nova est, sans doute, la Nébuleuse du Crabe, petite formation gazeuse appartenant à notre Galaxie.

Au reste, si les Super-Novae peuvent donner naissance à

des Nébuleuses gazeuses, il est possible que leur explosion conduise, également, aux Naines blanches.

Nous ne connaissons pas, avec certitude, le phénomène initial qui produit les Super-Nova. On admet, généralement, qu'il est dû à l'effondrement d'une étoile suivant un processus dérivé de celui de Milne et que l'on peut résumer comme suit : combinaison de protons et d'électrons si le noyau de l'étoile atteint des densités assez élevées (état dégénéré) ; formation de neutrons, dépression au centre de l'astre, écrasement de l'étoile sur son noyau et, consécutivement, libération de presque toute son énergie de gravitation.

6. Étoiles variables

On connaît, actuellement, plus de trois mille étoiles dont l'éclat varie périodiquement. Pour certaines d'entre elles (Algol, Sirius, etc.) les fluctuations d'intensité lumineuse sont dues au passage d'un compagnon obscur devant l'étoile principale du couple. Voici, par exemple, les variations d'Algol : l'éclat de cette étoile se maintient sensiblement constant pendant deux jours et 11 heures, puis, en 5 heures, l'étoile perd les $\frac{2}{3}$ de sa luminosité, passe par un minimum très court, et 5 heures après, revient à son éclat initial. La durée qui sépare deux minima est de deux jours, 20 heures, 49 minutes.

Pour les autres Variables, qui sont la majorité, les changements rythmiques résultent probablement d'une modification physique de l'astre. On classe ces étoiles en différentes catégories : les Variables à courte période ou Céphéides dont le type est δ Cephei, les Variables à longue période dont la durée de fluctuation peut dépasser deux ans (ex. Mira Ceti) et les Variables irrégulières où les changements d'éclat ne semblent pas suivre une loi déterminée et qui présentent quelque analogie avec les Nova (ex., P. Cygni). Les Céphéides qui sont les Variables les mieux connues et les plus intéressantes retiendront, seules, notre attention. Voici leurs principaux caractères : leur variation d'éclat est régulière avec une période très courte (moins d'une semaine, et parfois d'un jour) ; leur luminosité passe, rapidement, du minimum au maximum ; par contre, la marche en sens inverse est plus lente ; enfin, leur spectre se modifie et indique une augmentation de température au moment des maxima d'éclat (fig. 6).

Ces caractères spéciaux des Céphéides ont conduit Shapley,

Eddington, Ludendorff et d'autres astronomes à admettre que ces astres sont des étoiles simples qui présentent des alternatives périodiques d'expansion et de contraction.

Selon l'expression du docteur Chanor, les Céphéides se contractent et se dilatent rythmiquement « comme un gigantesque poumon ».

Leur pulsation ne peut durer à une cadence régulière que si un choc d'entretien l'alimente. Ce choc réside, vraisemblablement, dans une chaîne de réactions nucléaires élémentaires, très sensible aux variations de température centrale qui accompagnent les variations du rayon.

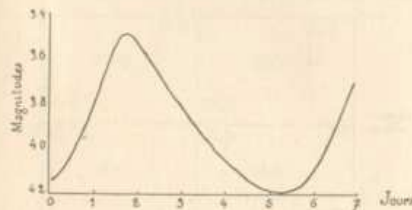


FIG. 6. — Courbe photométrique de l'étoile δ Cephei.

Malgré leur éloignement, les Céphéides et les étoiles similaires agissent-elles, par leur rythme, sur les phénomènes physiques du globe et sur les organismes ? Ce n'est pas impossible. De même, l'explosion des Nova trouve, peut-être, son écho en maints phénomènes physiologiques. Des recherches fécondes, croyons-nous, pourraient être engagées dans cette double voie.

7. Rythmes solaires

Le Soleil peut être assimilé à un milieu plus ou moins homogène dont nous ne voyons que les enveloppes gazeuses qui sont la photosphère, la couche renversante, la chromosphère et la couronne.

La photosphère repose sur le noyau. C'est elle qui constitue la surface lumineuse du Soleil. Ses principaux accidents

sont les taches et les facules. La couche renversante constitue la seconde enveloppe; elle est formée de vapeurs moins chaudes; elle entoure la photosphère.

Au-dessus de la couche renversante, on aperçoit très facilement, à l'œil nu, lors des éclipses totales du Soleil, une mince couche rosée, la chromosphère. Enfin, au delà de la chromosphère, s'étend la couronne solaire, milieu extrêmement raréfié et de luminosité faible; jusqu'en 1930, la couronne ne pouvait être étudiée que pendant les éclipses solaires; maintenant, grâce au coronographe de Lyot, elle peut être observée en tout temps. Graduellement, la couronne se confond avec la nébulosité générale qui baigne tout le système solaire.



FIG. 7. — Taches solaires. Polarités opposées des deux taches d'un couple. Polarités opposées des conductrices dans les deux hémisphères. Renversement des polarités d'un cycle au suivant. (D'après Coulbert : « Dans le champ solaire ».)

Remarquons que cette classification est assez artificielle, car la transition est insensible d'une couche à l'autre. Néanmoins, chaque enveloppe se différencie de la suivante et de la précédente par la pression qui règne en son sein et par sa composition physico-chimique.

Ce simple aperçu était nécessaire pour comprendre l'étude des phénomènes rythmiques dont le Soleil est le siège.

L'activité rythmique du Soleil se manifeste, surtout, par la périodicité des taches et par l'extension plus ou moins grande de la couronne.

Les taches solaires sont des régions sombres de la photosphère (Pl. II). Elles apparaissent composées d'une partie cen-

trale, noirâtre, le noyau, et d'une pénombre fibreuse entourant celui-ci. Le noyau semble noir par contraste avec la surface brillante du Soleil; en fait, il est rouge foncé. Parfois, les taches solaires sont visibles à l'œil nu; dans ce cas, leur diamètre est au moins égal à trois fois celui de la Terre.

Quelle est leur structure? On sait maintenant que les taches sont constituées par de gigantesques tourbillons qui creusent la surface de la photosphère et laissent ainsi apercevoir les parties sous-jacentes moins chaudes que les régions superficielles. Une tache est toujours précédée d'une facule, longue traînée brillante qui correspond à un relief, alors

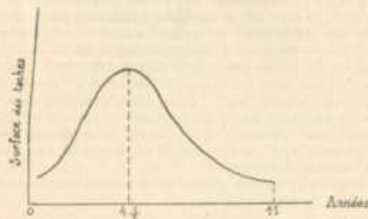


FIG. 8. — Courbe ondulatoire théorique des taches solaires.

que la tache est un creux. Remarquons, toutefois, que la plupart des facules évoluent sans qu'il apparaisse de taches en leur sein. Fait qui nous intéresse particulièrement, toutes les taches solaires sont le siège d'un champ magnétique intense de 3.000 gauss environ (champ magnétique terrestre total, 0,2 gauss).

En général, les taches apparaissent par couples. Dans un couple, les deux taches n'ont pas la même apparence ni la même polarité magnétique. Alors que la « conductrice » est, par exemple, positive, la « suivante » est négative et réciproquement. D'autre part, si, dans un hémisphère, la polarité des taches est plus, moins, dans l'autre hémisphère, elle est moins plus (fig. 7).

L'observation continue de la surface solaire a permis de constater qu'en certaines années, dites de minimum, les taches manquent complètement; puis, elles augmentent, peu à peu,

en nombre et en surface totale, pendant quatre ans et demi. C'est alors l'année de maximum; ensuite, elles décroissent lentement pendant six ans et demi. Le cycle des taches solaires est donc de onze ans (fig. 8).

Spörer a complété cette observation par celle-ci : après un minimum, les taches réapparaissent dans les hautes latitudes, ensuite, leur latitude moyenne décroît de façon continue, et, à la fin du cycle, on n'en trouve plus qu'au voisinage de l'équateur (fig. 7). Enfin, après chaque cycle, la polarité des taches est inversée. Comme le montre le schéma, elle était, de 1912 à 1923, pour l'hémisphère Nord, moins, plus; de 1923 à 1934, et pour le même hémisphère, elle devint plus, moins.

Le cycle de onze ans se retrouve, également, dans un grand nombre de phénomènes du monde solaire. L'amplitude des facules, des protubérances (immenses boursoffures de la chromosphère), de la couronne, suit celle des taches. Ainsi, aux époques de maximum des taches, la couronne est sensiblement circulaire et présente l'aspect d'une « gigantesque auréole avec rayons proéminents dans de nombreuses directions inégalement réparties » (Bruhat). Aux époques de minimum, elle est moins étendue, sauf dans le plan de l'équateur où elle présente de très longues banderoles.

La couleur de Jupiter, l'éclat de la comète Eocke semblent obéir, aussi, au même rythme.

8. Action des taches solaires sur le Globe terrestre

Le 3 octobre 1945, sur la longueur d'onde de 1 m 50, trois physiciens australiens de l'Université de Sydney, J.-L. Pawsey, R. Payne-Scott et L.-L. Mac Cready, captèrent, pour la première fois, à l'aide du radar, l'énergie des ondes électromagnétiques provenant du Soleil. Il est donc maintenant acquis, d'une façon indubitable, que la Terre peut être soumise à l'action des taches solaires (1).

(1) Les ondes radioélectriques du Soleil seraient dues, d'après Kiepenheuer, au gyromagnétisme des électrons. Ceux-ci, lancés avec une vitesse V par l'agitation thermique perpendiculairement à un champ H , prendraient un mouvement hélicoïdal autour des lignes de force du champ et émettraient des ondes de fréquence $\frac{Hv}{2\pi mc}$ (H , valeur du champ; v , charge de l'électron; m , masse de l'électron; c , vitesse de la lumière).

En considérant la direction du champ et la densité d'électrons au-dessus d'une tache, Kiepenheuer démontre que l'intensité des émissions doit être maximum quand la tache passe au méridien.

On a, de plus, constaté que les éruptions chromosphériques qui accom-

Les observations suivantes, d'ailleurs antérieures à l'expérience que nous venons de signaler, en fournissent la preuve indirecte.

Par ses longues et minutieuses recherches qu'il a fait connaître récemment, M. Mémery a mis en évidence le parallélisme qui existe entre certaines perturbations atmosphériques et les périodes solaires. D'après notre éminent collègue de la Société astronomique de France, toute apparition de taches importantes serait suivie d'une hausse de température, puis de tempête. Leur disparition coïnciderait avec une vague de froid accompagnée d'orages. Ensuite, le calme reviendrait avec le beau temps. Depuis que nous connaissons ces observations, nous en avons vérifié la justesse.

De son côté, G. Lakhowsky, dont nous avons plus haut cité les travaux, prétend que les cycloons, les incendies sans cause apparente, les coups de grison dans les mines sont plus fréquents au passage des taches.

Depuis quelques années déjà, l'abbé Moreux, directeur de l'Observatoire de Bourges, a montré, d'une façon irréfutable, que les tremblements de terre, les éruptions volcaniques dépendent des périodes d'activité solaire. A propos des éruptions volcaniques, il est à remarquer que les volcans seraient moins actifs pendant les maxima et plus actifs, au contraire, au cours des années de minima.

D'autre part, variant synchroniquement avec la période undécennale des taches, l'intensité du magnétisme terrestre, la fréquence des orages magnétiques, l'abondance des aurores polaires, et, parmi les phénomènes secondaires, le nombre des icebergs, le niveau du lac Victoria Nyanza (fig. 9).

De même, les famines de l'Inde (sécheresse), les crises économiques, la bonne ou la mauvaise qualité des vins (fig. 10), etc., seraient liées pareillement à un tel cycle.

Il est amusant d'ajouter à cette liste, écrit P. Coudere (Dans le champ solaire), une statistique de Lury où cet auteur établit que le nombre de peaux de lapin récoltées par la Compagnie de la Baie d'Hudson suit une courbe parallèle à celle des taches.

L'observation particulière suivante illustre, de façon remarquable, comment souvent les taches renforcent singulièrement l'action de celles-ci. Certains auteurs prétendent même que ces éruptions seraient seules actives. On comprend, dès lors, que de grandes taches puissent traverser le disque solaire sans produire de perturbations importantes; il suffit, pour cela, qu'elles ne soient pas entourées d'éruptions.

marquable, les généralités qui précèdent (extrait du *Bulletin de la Société Astronomique de France* de mai-juin 1946).

« Un très important groupe de taches, apparu au bord Est du Soleil le 20 juillet 1946, et passant au méridien central les 26-27, a été le siège de phénomènes éruptifs violents.

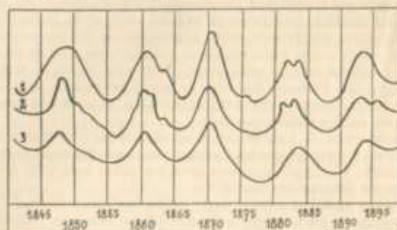


FIG. 9.

- (1) Fréquence des taches solaires de 1845 à 1895.
(2) Fréquence des perturbations magnétiques.
(3) Fréquence des aurores polaires.

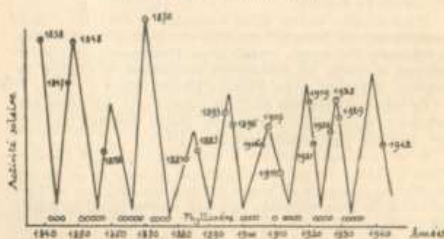


FIG. 10. — L'activité solaire et les vins de Bourgogne, d'après M. Bidault de Lisle (*Bulletin de la Société Astronomique de France*).
Fréquence des taches solaires de 1895 à 1942.
Récoltes excellentes (maxima de l'activité solaire).
O Mauvaises récoltes (périodes de minima).

« A Meudon, le 25, à 15 heures, a débuté l'éruption chromosphérique la plus importante qui y ait jamais été enregistrée. L'éclat maximum a été observé entre 16 heures 15 minutes et la disparition du Soleil, derrière les arbres, à 18 heures 40 minutes. Des perturbations ionosphériques exceptionnelles se sont produites au même instant, provoquant, notamment, l'interruption totale des communications radiotéléphoniques sur plusieurs circuits (1). Un orage magnétique d'intensité inusitée a débuté le 26 dans l'après-midi et, dans la nuit du 26 au 27, une aurore boréale a été observée de différentes localités. M. R. Rigollet, de l'Observatoire Flammarion, de Juvisy, a suivi cette aurore depuis 0 heure jusqu'à l'aube; sa teinte générale était jaune et rouge au début, verte à la fin. »

9. Action des taches sur les êtres vivants

Les taches solaires n'agissent pas seulement sur la physique du globe; elles exercent, aussi, une action sur les êtres vivants, et particulièrement sur l'Homme.

Considérons, en premier lieu, leur influence sur l'Homme en tant qu'individu. Nous examinerons, ensuite, leurs effets sur les collectivités.

L'abbé Moreux écrit :

« Le flux électrique émané du Soleil agit sur notre système nerveux et j'ai souvent constaté que nombre de personnes, les enfants surtout, sont plus irritables au moment des phases de suractivité solaire. Le nombre de punitions dans les collèges est toujours plus élevé au moment des perturbations magnétiques causées par les troubles des enveloppes solaires. Ces influences inconscientes se traduisent, chez certains sujets, par des accès de nervosité, exercent sur les tempéraments maladifs des effets complexes, oppressions, accès de goutte ou de rhumatisme, migraines, névralgies et même crises de colère. »

(1) Les éruptions chromosphériques produisent généralement les effets suivants sur les communications radioélectriques :

1) Interruption des transmissions lointaines sur ondes courtes, l'écoulement pouvant durer de quelques minutes à quelques jours.

2) Propagation renforcée des ondes longues de 10 000 m.

On admet, maintenant, que c'est le rayonnement ultraviolet issu de la perturbation solaire qui produit ces deux effets contraires en augmentant la densité ionique des couches électrisées de la haute atmosphère et, particulièrement, de la couche inférieure. Les ondes courtes, qui sont déviées par réfraction, sont progressivement absorbées et ne se propagent plus à longue distance. Par contre, les ondes longues, qui subissent une réflexion spéculaire, sont mieux réfléchies sur la couche ionisée de densité accrue et se trouvent, de ce fait, renforcées.

Les remarques de l'abbé Moreux dont nous avons constaté l'exactitude en ce qui concerne les punitions scolaires sont certainement intéressantes, mais elles n'ont ni la qualité ni l'ampleur des observations faites par le Dr Maurice Faure.

Ce savant docteur a montré, en effet, que les recrudescences d'états morbides, les morts subites, les séries d'attentats, de crimes absurdes, de suicides dans un pays donné concordent, exactement, avec l'apparition des taches solaires au méridien, dans le même temps.

Voyons, d'abord, de quelle curieuse façon le Dr M. Faure a été amené à entreprendre ses importantes recherches et à découvrir, en même temps, la relation de cause à effet entre les taches solaires et certains états pathologiques.

« C'était à Nice, écrit M. Faure, ville où l'on possède le téléphone automatique. Chaque abonné appelle ou est appelé, sans l'intervention d'aucun employé de l'administration. Certains jours, sans que rien dans l'état des appareils expliquât cette perturbation, les appareils cessaient de fonctionner ou fonctionnaient anormalement pendant quelques heures : c'est-à-dire que l'on obtenait des communications autres que celles que l'on avait appelées, ou que l'on n'obtenait rien, ou que les communications commencées se mélangeaient, s'interrompaient, etc. Puis, l'appareil reprenait soudain son fonctionnement normal, sans aucune intervention humaine.

« Je ne fus pas peu surpris de constater que ce détraquement passager du téléphone coïncidait avec les périodes de recrudescence des états morbides et annonçait des perturbations atmosphériques graves, qui se produisaient immédiatement après. Un jour, où ce dérangement inexplicable du téléphone automatique avait été particulièrement grave, je lus, dans les dépêches, qu'une forte perturbation magnétique s'était produite aux Etats-Unis et avait arrêté le fonctionnement des télégraphes et des téléphones pendant plusieurs heures. M. Vallot, que j'interrogeais aussitôt, m'indiqua que ces perturbations n'étaient pas très rares et qu'elles se traduisaient, aussi, par l'effilement de la boussole, l'apparition d'aurores boréales, de secousses sismiques, d'éruptions volcaniques, etc. D'après lui, une des causes les plus certaines de ces perturbations magnétiques était le passage, au méridien, d'une tache solaire importante. Et nous résolûmes, ensemble, de rechercher si le passage des taches solaires ne coïncidait pas, aussi, avec l'aggravation des maladies humaines.

« Le Dr Sardou, averti, nous prêta sa collaboration, et voici comment cette première recherche fut effectuée : M. Vallot nota, dans son Observatoire du Mont Blanc, le passage des taches solaires. En même temps, le Dr Sardou nota les accidents morbides qu'il observait à Nice, c'est-à-dire au bord de la Méditerranée, pendant que je notais ceux que j'observais à La Malou, station située dans les montagnes des Cèvennes, sur le bord du Plateau Central de la France. Chacun de nous ne communiqua point ses observations à ses collaborateurs. Mais, lorsque, après 267 jours d'observations consécutives, nous confrontâmes nos résultats, il nous fut facile de constater qu'ils étaient chronologiquement superposables, c'est-à-dire que, sur 25 passages de taches solaires, 21 avaient été accompagnés d'accidents morbides très nets...

« Par la suite, je constatai, encore, la relation des passages de la tache avec les séries de morts subites, qui sont deux fois plus nombreuses au moment des taches qu'en dehors de ces moments... »

En poursuivant ses observations, et en les serrant de près, le Dr M. Faure a pu, d'autre part, préciser le rôle des taches : les taches mal orientées ne déterminent pas d'accidents ; la répétition fréquente des taches est un élément important de virulence ; un groupe de taches passant au méridien, à quelques heures d'intervalle, est plus nocif qu'une seule tache dont la superficie serait égale à celle du groupe entier ; enfin, des séries de taches se succédant en quelques jours ont des effets incomparablement plus forts que n'en auraient ces mêmes taches séparées par des intervalles de plusieurs semaines.

Nous placerons, ici, une très curieuse observation personnelle qui, d'ailleurs, n'a peut-être que la valeur d'une coïncidence ; sinon, elle vient corroborer les faits précédents.

Notre femme de ménage, atteinte de tuberculose pulmonaire, venait d'accoucher. L'enfant, né dans de bonnes conditions, quoique un peu faible, avait été séparé de sa mère afin d'éviter toute contagion possible, mais laissé dans la même ville. D'autre part, nous avions un lapin malade. Sur ces entrefaites, je vis apparaître, au bord Est du Soleil que j'observais, chaque jour, à la lunette astronomique, un groupe de taches qui, d'après son étendue, sa structure et ses variations incessantes, me sembla particulièrement actif. Je fis part du fait à mon entourage et prédis : lorsque les taches passeront au méridien, les malades de notre ville en sentiront les effets

nocifs et il se pourrait qu'il y eût des morts subites. Le jour du passage arrive et, à peu près au même instant, meurent l'enfant, la mère et notre animal malade.

Après avoir bien établi la relation existant entre les taches et les états pathologiques, le Dr M. Faure a étendu le champ de ses investigations aux attentats, aux crimes et aux suicides.

Voici un exemple de parallélisme entre une série de faits étranges qui se trouvent réunis pendant onze jours consécutifs et l'apparition importante de taches pendant le même temps. Il est à remarquer que de tels faits n'existaient pas pendant les jours précédents et ne se sont pas reproduits les jours suivants.

Année 1926 (extrait de la *Gazette des Hôpitaux*, 1931) :

17 février. — Trois hommes assassinent le père, la grand-mère et les deux filles pour voler 7 francs. On note aussi, ce jour-là, quatre suicides, dont l'un à 18 ans et un autre à 27 ans, et deux morts subites.

18 février. — Une mère se pend, après avoir noyé ses deux enfants, âgés de 4 et 5 ans, dans une lessiveuse « où elle a eu bien du mal à les faire entrer ». Un homme tue un enfant de dix ans parce qu'il l'aimait sincèrement, puis se suicide.

20 février. — Deux suicides seulement. Vagues de froid.

21 février. — Des inconnus ligotent une jeune femme et, après l'avoir arrosée de pétrole, l'allument et s'enfuient. Cinq morts subites, trois suicides, dont un à 24 ans et un autre à 45 ans. Tempêtes et inondations.

22 février. — Un homme tue son frère puis se suicide. Une mort subite et deux suicides. Eruption volcanique (Krakatoa). Coup de grison (Etats-Unis).

23 février. — Trois suicides, dont l'un à 26 ans. Secousses sismiques en Palestine.

24 février. — Un homme de 35 ans tue sa femme, âgée de 24 ans, parce qu'elle refusait de lui faire chauffer du café.

25 février. — Deux morts subites et cinq suicides.

26 février. — Un garde forestier tue son chef, la femme et les deux filles de celui-ci, et met le feu à la maison. Tornade au Brésil provoquant l'écroulement de 200 maisons. Secousses sismiques en Judée. Vagues de froid. Tourmentes de neige en Grèce et en Turquie.

27 février. — Une femme de 60 ans se tue, en se fendant la tête à coups de hache. Un homme tue son frère au cours d'une discussion pour un motif futile. Un ouvrier en tue un

autre, sans motifs plus sérieux. Un homme tire quatre coups de revolver dans la gare de Corte, sans aucune raison connue. Il atteint et tue un passant. A Paris, au cours d'une discussion banale, un homme blesse trois personnes, dont son interlocuteur et deux spectateurs. Un ami intervient, alors, également à coups de revolver. Aux environs de Paris, un jeune homme est étranglé, brûlé, puis enfermé dans un sac et abandonné sur une route. Deux suicides. Eruption du Vésuve. Tempêtes et avalanches.

Taches solaires passées au méridien du 17 au 27 février 1926 :

17 février. — Tache d'une surface égale à 106 millionièmes de la surface solaire (surface terrestre : 84 millionièmes).

18 février. — Tache de 82 millionièmes.

19 février. — Tache de 47 millionièmes.

20 février. — Tache de 80 millionièmes.

21 février. — Tache de 676 millionièmes.

25 février. — Tache de 86 millionièmes.

27 février. — Tache de 257 millionièmes.

Enfin, les taches solaires seraient également responsables des séries d'accidents où l'on trouve l'inattention, la nervosité, la fatigue d'un pilote, d'un mécanicien, d'un garde-voie, etc., ou la maladresse, la malveillance, l'intention de nuire.

« Lorsqu'une collision grave de trains se produit, écrit M. Faure, on observe environ deux autres collisions le même jour et le jour suivant. Lorsqu'on signale un incendie spontané, d'autres se produisent dans un temps très court et dans des lieux trop différents pour que l'on puisse invoquer l'imitation... » Le même fait s'observe facilement pour les accidents d'aviation.

Ainsi donc, conclut le Dr M. Faure, accidents, crimes, suicides, morts subites, symptômes aigus de maladies chroniques, accompagnent, avec une régularité parfaite, le passage des taches solaires. Lorsque la tache approche du méridien, l'homme réagit le premier, et c'est alors le réveil des symptômes assoupis d'une maladie latente. L'exemple le plus typique est la crise de douleurs qui survient parfois sans aucune cause et en pleine santé apparente. Le malade dit souvent que ses douleurs annoncent un changement de temps. Et le changement de temps se produit, en effet, dans le délai de deux jours, en moyenne, sous l'influence de la tache qui passe au méridien, à un moment

de ces deux jours. Les morts subites, les suicides, les crimes absurdes coïncident avec ce passage, et marquent à la fois le paroxysme de la souffrance humaine et le déséquilibre grave du système nerveux, pouvant aller jusqu'à la mort ou jusqu'à l'acte démentiel. Puis, la réaction humaine s'apaise, car la tache est passée, mais alors surviennent les incendies, les coups de grison, les orages, les cyclones, les tornades. L'aurore barbare s'inscrit généralement deux jours après le passage de la tache dans le même délai environ que l'éruption volcanique ou le tremblement de terre, qui achèvent de marquer l'action formidable des radiations solaires anormales, sur l'écorce terrestre et ses habitants.

Dans leur ensemble, ces phénomènes, lorsqu'ils sont intenses, sont d'une observation facile et reviennent avec ordre, et la régularité que nous constatons habituellement dans les phénomènes naturels.

L'Homme se comporte donc comme un réactif très sensible à l'influence des radiations solaires. Il est le premier qui ressent l'approche de la tache. Il manifeste sa réaction par des symptômes divers, parfois violents, mais toujours passagers. Puis, la surface terrestre participe d'une manière plus durable à la perturbation qui s'achève en quelques jours dans la profondeur de l'écorce.

Ces conclusions semblent irréfutables parce que basées sur des faits : les taches solaires agissent sur les individus comme elles agissent sur certains phénomènes physiques terrestres. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'elles exercent, également, une action sur les groupes d'individus, sur les collectivités.

Au point de vue pathologique, voici quatre constatations indiscutables présentées par le Dr E. Budai, dans la *Revue de Pathologie* comparée de juillet 1935 :

1° Les épidémies de fièvre récurrente, à Moscou, suivent, entre 1880 et 1916, le rythme des taches solaires;

2° Depuis 1882, en Amérique du Nord, les poussées agressives de la méningite cérébro-spinale, au nombre de cinq, coïncident, à un ou deux ans près, avec les maxima undécennaux des taches;

3° Les épidémies de diphtérie des trois villes de Delreczin, Budapest et Vienne s'adaptent de 1893 à 1928 au rythme des taches;

4° Les trois grandes explosions de paludisme en Allemagne offrent, d'après M. E. Sergent, entre 1904 et 1928, la même particularité.

Au point de vue social, il apparaît aussi, qu'une corrélation existe entre les rythmes solaires et certains faits politiques ou historiques, crises guerrières et révolutionnaires, ou, au contraire, années de calme et de prospérité.

Aux périodes où les taches sont le plus nombreuses, une sorte de fièvre semble prendre possession de l'humanité : des violences de toutes sortes se manifestent, révolutions, perturbations sociales; les guerres éclatent entre les peuples, un vent de folie agite tous les cerveaux.

Par contre, aux périodes d'activité solaire minimum, correspondent des années de quiétude et de prospérité : nous voyons se développer les arts, les échanges amicaux entre nations.

Voici, d'après le Dr Carton, quelques faits qui vérifient ces généralités.

Années de maximum : 1769, guerre russo-turque. 1778, guerre navale entre la France et l'Angleterre. 1787 à 1794, activité solaire considérable, révolution française, Terreur, partage de la Pologne. 1804, apogée des guerres de Napoléon. 1816, Waterloo et Terreur blanche. 1830, expédition d'Alger, révolution de 1830, insurrection de la Pologne, soulèvement de la Belgique, mouvements insurrectionnels en Allemagne, soulèvements en Italie. 1837, forte activité solaire qui s'étend jusqu'en 1840, insurrection Blanqui et Barbès, révolution en Espagne, intervention en Egypte. 1848, révolution en France et en Italie. 1860, expédition de Cochinchine, massacres en Syrie, expédition en Syrie, guerre du Mexique. 1870, activité solaire intense, guerre franco-allemande, Commune. 1883, expéditions coloniales : Tunisie, Soudan, Annam, Tonkin. 1893, guerre sino-japonaise, Madagascar. 1905, guerre russo-japonaise, Maroc. 1917, grande guerre européenne, révolution russe.

Ajoutons que, dès 1946, le Soleil est entré dans une phase de très grande activité. Or, à partir de cette date et dans tous les pays du monde, on a pu observer des séries inhabituelles de catastrophes, explosions, tornades, inondations, secousses sismiques, accidents d'aviation et de chemin de fer, etc., ainsi que l'apparition, le développement et l'extension de toute une série de perturbations sociales : vols, crimes, grèves, révolutions, conflits de toutes sortes.

Années de minimum : 1775, prospérité du commerce, de l'industrie et de l'agriculture en France. 1784, traité de Versailles qui met fin à la guerre d'Amérique. 1788, organisation administrative, financière, judiciaire et religieuse de la France sous le Consulat. 1810, déclin de Napoléon I^{er}. 1823, périodes d'expositions industrielles organisées en France. 1833, quadruple alliance (France, Angleterre, Espagne, Portugal). 1843, période pacifique. 1856, 1867, 1878, 1889, 1900, expositions universelles de Paris. 1912, relâchements sociaux, pacifisme.

Notons, qu'en ce qui concerne les derniers événements qui ont ensanglanté l'Europe, la période de maximum se situe entre 1937 et 1939; par conséquent, la loi ne semble pas exactement vérifiée. Remarquons toutefois que, d'une part, le cycle correspondant a été remarquable par sa très forte activité et que, d'autre part, ce sont les années de tension européenne, antérieures à 1939, qui ont préparé, mûri et déclenché la guerre de 1939-1944.

De son côté, le professeur Tchijevsky, de Moscou, a fait des observations analogues à celles du Dr Carton, bien que de nature un peu différente :

« J'ai démontré, écrit-il, que 72 % des épidémies psychiques et psychopathiques coïncident avec les époques de tension maximum de l'activité solaire.

« J'ai terminé, à présent, mes investigations sur la corrélation des oscillations diurnes et mensuelles de l'activité solaire et des mouvements des masses populaires, en utilisant les matières statistiques suivantes : 1° les mouvements agraires en Russie dans les années 1905-1906; 2° les actes terroristes en Russie de 1902 à 1911; les mouvements de masse en soixante pays de 1923 à 1928; 3° les répressions de mouvements de masses par les gouvernements en dix-huit pays, dans les années de 1926 et 1927; 4° le soulèvement contre les Juifs en Ukraine de 1919... Je suis parvenu à la conclusion que les paroxysmes de l'activité des grandes masses humaines tendent à coïncider avec les recrudescences épisodiques, diurnes et mensuelles de la formation des taches. »

Et l'astronome Tchijevsky de proclamer « que l'état de prédisposition à la conduite des masses humaines est en fonction de l'activité solaire ».

Même dans les faits les plus inattendus, l'activité solaire semble marquer son empreinte. Ainsi, il y eut, de 1830 à 1927, dix maxima pendant lesquels, en Angleterre, les libéraux oc-

cupèrent le pouvoir neuf fois, et neuf minima pendant lesquels les conservateurs l'occupèrent huit fois. Les maxima favoriseraient donc les libéraux et les minima les conservateurs !

Après cet exposé de faits, il conviendrait, évidemment, de rechercher le mécanisme de l'action des taches. Nous avouons que toute hypothèse dans ce domaine encore si peu exploré nous semble prématurée. Néanmoins, nous proposons l'explication suivante :

Tous les êtres vivants se trouvent plongés dans le champ magnétique terrestre. Un état d'équilibre existe entre eux et ce champ. Qu'une modification du champ survienne, par exemple, à l'occasion du passage d'une tache au méridien, un nouvel état d'équilibre devra s'établir. Cet état se réalisera sans grand dommage et passera même inaperçu chez les êtres dont les capacités réactionnelles sont intactes. Par contre chez tous ceux qui se trouvent en instabilité humorale, laquelle caractérise l'irritabilité, la maladie ou l'approche de la mort, le déséquilibre s'accroîtra à cause de l'effort que devra fournir l'organisme pour s'adapter aux conditions nouvelles; la maladie latente ou chronique se fera aiguë, la mort surviendra brutalement.

Comme, d'autre part, le psychique est, en grande partie, le reflet du physiologique, toute perturbation dans ce dernier domaine retentira sur le premier. Ainsi, peuvent s'expliquer suicides, crimes absurdes, accidents dus à la malveillance, à l'inattention.

Enfin, ce qui est vrai pour l'individu au point de vue psychologique l'est, à plus forte raison, pour les foules et les nations car, dans ce cas, la volonté individuelle s'atténue considérablement et les influences extérieures agissent d'autant mieux. D'où l'action solaire sur les collectivités et sur les événements historiques.

10. Rythmes lunaires

Dans son mouvement autour de la Terre, la Lune prend toutes les positions par rapport à la direction du Soleil (fig. 11).

A un certain moment, elle se trouve du même côté que l'astre du jour et nous présente son hémisphère obscur; nous ne pouvons l'apercevoir; c'est la *Nouvelle Lune*. Elle se couche, alors, en même temps que le Soleil. On la dit en *Conjonction* avec lui.

Bientôt après la Nouvelle Lune, notre satellite se montre sous la forme d'un fin croissant, dont l'épaisseur, en son milieu, va en augmentant d'un jour à l'autre. Sept jours après la Nouvelle Lune, ce croissant atteint les dimensions d'un demi-cercle; nous n'apercevons qu'une moitié du disque lunaire: c'est le *Premier Quartier*. La Lune, la Terre et le Soleil sont à angle droit. La lune est dite en *Quadrature*; elle se lève, à ce moment, vers midi et se couche aux environs de minuit.

Ensuite, le demi-cercle s'augmente, chaque jour, d'une por-

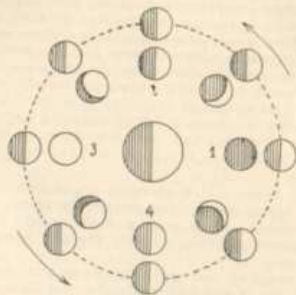


FIG. 11. — Phases de la Lune. A l'intérieur de l'orbite, les phases sont représentées, telles qu'on les voit de la Terre. Le Soleil serait à droite de la figure.
1) Nouvelle Lune; 2) Premier Quartier; 3) Pleine Lune; 4) Dernier Quartier.

tion elliptique et quatorze jours après la Nouvelle Lune, l'astre des nuits nous montre tout son hémisphère éclairé; c'est la *Pleine Lune*. La Lune se lève, alors, en même temps que le Soleil se couche et nous éclaire toute la nuit. Elle est en *Opposition* avec le Soleil.

Après cette période de croissance, la Lune décroît et passe par les mêmes formes que précédemment. Vingt et un jours après la Nouvelle Lune, elle prend, de nouveau, l'aspect d'un demi-cercle lumineux; c'est le *Dernier Quartier*. La Lune est

encore en *Quadrature*; elle se lève vers minuit et se couche vers midi. Enfin, vers le 27^e jour, on ne voit plus qu'un mince croissant; le 28^e jour, il a disparu; c'est la Nouvelle Lune et le cycle recommence. Cette durée de 28 jours (exactement 27 jours, 7 heures, 43 minutes, 11 secondes 55) est le temps que met la Lune à revenir en un même point de son orbite; après ce laps de temps, la Lune se trouve, dans le ciel, en face de la même étoile; 27 j 7 h ... est la *Révolution sidérale* de la Lune.

En fait, il s'écoule 29 jours 1/2 environ (exactement 29 j. 12 h. 44 m. 2 s 36) d'une Nouvelle Lune à la Nouvelle Lune suivante, à cause du mouvement de translation de la Terre; cette durée est la *Révolution synodique*. L'intervalle entre la Nouvelle Lune et le Premier Quartier, entre celui-ci et la Pleine Lune, etc., n'est donc pas exactement de 7 jours, mais varie entre 6 et 8 jours; nous avons pris la valeur moyenne de 7 jours pour simplifier.

Pendant la lunaison, notre satellite envoie donc, sur la Terre, un flux lumineux dont l'intensité croît d'abord, puis décroît ensuite.

Il est à remarquer que la lumière lunaire n'est pas purement et simplement de la lumière solaire réfléchi. Au point de vue structural, elle est fortement polarisée alors que la lumière solaire ne l'est pas. D'autre part, le sol lunaire absorbe, plus ou moins, certaines radiations, d'où sélection qualitative dans le spectre solaire réfléchi.

La succession des phases constitue, évidemment, un phénomène périodique. Les *Librations* de la Lune sont également rythmiques; enfin, le phénomène des *Nœuds*, que nous allons décrire, se présente, aussi, avec ce caractère.

La Lune décrit autour de la Terre une ellipse dont notre globe occupe l'un des foyers; c'est l'orbite lunaire. Comme l'orbite de la Lune est inclinée sur l'écliptique, les deux trajectoires (orbite lunaire et écliptique) se coupent en deux points appelés *Nœuds*, nœud ascendant quand la Lune passe de l'hémisphère Sud dans l'hémisphère Nord, nœud descendant lorsqu'elle repasse dans l'hémisphère austral (fig. 12).

Or, l'observation montre que la ligne des nœuds ne reste pas fixe; chaque nœud avance sur l'écliptique dans le sens rétrograde et fait une révolution complète en 18 ans 2/3; nous verrons dans le paragraphe suivant, l'importance de ce phénomène.

II. Influences lunaires rythmiques

On sait que l'attraction lunaire est la cause déterminante de la marée, phénomène rythmique bien connu. De plus, il est prouvé que notre satellite agit sur le magnétisme terrestre suivant sa distance à la Terre. Par contre, l'action de la Lune sur les phénomènes météorologiques est encore à démontrer; il semble difficile d'établir une relation quelconque entre les rythmes lunaires et les vicissitudes météorologiques; d'ailleurs, dans la météorologie du Globe, de multiples facteurs entrent en jeu. Cependant, Maag prétend avoir constaté une diminution de température et de pression atmosphérique au moment de la Pleine Lune.

Une marée, d'origine lunaire, semble s'exercer sur les météores. Egedal, de Copenhague, dépouillant 504 observations, a trouvé que la hauteur moyenne d'apparition des météores

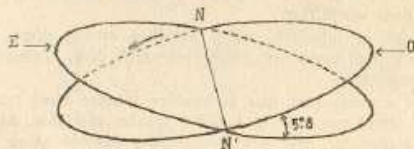


FIG. 12. — Disposition de l'orbite de la Lune par rapport au plan de l'écliptique. — E, plan de l'écliptique. — O, orbite de la Lune. — N, nœud descendant. — N', nœud ascendant. — NN', ligne des nœuds.

qui est de 130 km varie suivant la formule $10,7 \text{ km} \times \cos(2t + 6^\circ)$, où t représente l'heure lunaire. Cette formule indique que la hauteur moyenne à laquelle apparaissent les bolides lumineux augmente ou diminue de 11 kilomètres selon le flux d'une marée ayant pour cause notre satellite.

L'action de la Lune sur les végétaux, bien que controversée, apparaît évidente dans certains cas; dans l'abondante documentation qui s'y rapporte nous avons retenu les observations suivantes :

D'après Maag, la croissance quotidienne des racines des plantes arrive à un maximum au moment du coucher de la Lune.

L'abbé Moreux signale que la récolte des Champignons de couche est aussi abondante du huitième au quinzième jour de lunaison que pour tout le reste du mois.

Il est généralement admis que les arbres abattus au moment de la Pleine Lune sont peu sujets à être attaqués par des larves d'insectes; des études faites sur le Chêne dans nos Instituts agronomiques ont fait reconnaître le bien de cette remarque, surtout pour les arbres de petites dimensions. Les arbres coupés à la Nouvelle Lune seraient, de sève, et, de ce fait, moins résistants à la piqûre des I.

Kolisko a montré, récemment, que la période la plus favorable pour semer est deux jours avant la Pleine Lune; les plantes de jardin telles que Choux, Pois, Tomates, Carottes, fleurs annuelles, et, aussi, Blé. La germination est en général, meilleure et le rendement plus élevé que les graines semées juste avant la Nouvelle Lune; l'effet du début subsiste et se manifeste dans la croissance, la floraison et la fructification. Des expériences plus délicates ont été tentées pour voir si les diverses phases de la Lune présentent des différences d'action. Kolisko trouva que la germination du Blé est plus grande pendant les premiers jours qu'au cours du déclin. Etudiant, ensuite, l'influence du satellite sur des semences enfouies dans le sol, il put constater qu'à un mètre sous terre, l'action est analogue à la surface. A deux ou trois mètres, le maximum de la croissance est atteint en période de Pleine Lune. Entre quinze et vingt mètres, l'influence est plus faible, mais elle est encore présente sur la croissance, spécialement à la Pleine Lune de Pâques, qui serait déterminante pour l'année entière.

Recherchant, de son côté, le mécanisme de l'action de la Lune sur les plantes, Mme Elisabeth Sidney Semmens a observé que des grains d'amidon, exposés trois heures à la Pleine Lune, présentent des cristaux dont certains se dissolvent dans le liquide environnant. De l'amidon bouilli se transforme en sucre. De jeunes feuilles de Capucine ou d'Édémum, portées, en partie, par une feuille d'étain, conservent leurs grains d'amidon dans les régions obscures, tandis qu'ils disparaissent dans les parties éclairées. Des rameaux de Vigne, riches en sucre quand ils sont exposés à la Pleine Lune. Ces résultats, souligne Mme Sidney Semmens, sont, à tous points de vue, comparables à ceux qu'on obtient avec une lumière artificielle polarisée.

Après ces faits concernant l'action de la Lune sur les végétaux, voyons, maintenant, quelques observations météorologiques qui apparaissent plus intéressantes encore.

Selon Lakhowsky, la stérilisation de l'eau, au moyen de métaux, est plus longue pendant la Pleine Lune. Les microbes les plus sensibles aux variations des phases lunaires seraient les strepto et les staphylocoques, et, d'après le Dr H. Duprat, Lakhowsky aurait constaté que les infections qui dépendent de ces microbes se déclarent généralement pendant la Pleine Lune.

La Lune agit aussi sur les virus. Au 18^e congrès italien de pédiatrie, un médecin missionnaire d'Éthiopie a affirmé que l'intensité et l'efficacité de la réaction locale à la vaccination antivariolique varient avec les phases lunaires.

Dans son livre sur les tempéraments, le Dr Allendy écrit « que les hémoptysies et les crises fébriles des tuberculeux observés par lui au sanatorium de Gorbio près de Menton, présentaient leur maximum de fréquence du Premier Quartier à la Pleine Lune, et leur minimum dans la phase suivante, de la Pleine Lune au Dernier Quartier, dans la proportion de douze cas pour la première période contre un cas dans la seconde; les deux autres phases offraient, l'une et l'autre, un chiffre proportionnellement égal à trois ou quatre ».

Des observations analogues ont été faites sur la coqueluche; il y aurait augmentation des quintes de la Nouvelle Lune au début du Premier Quartier et diminution des accès dès le commencement de la Pleine Lune.

D'après le Dr Vergnes, certaines adénites, certains fibromes subissent une légère poussée au moment de la Pleine Lune, d'où la méthode de traitement du Dr Duprat, consistant, dans les états d'hypertrophie, d'hyperplasie, de dilatation, à administrer le remède hypotrophiant pendant la période de décroissance lunaire et à prescrire une médication hypertrophifiante, en période de croissance, dans les états opposés.

Le tube digestif est, lui aussi, légèrement influencé. Il y a, affirme le Dr Vergnes, des crises gastriques, des vomissements, des diarrhées qui sont en relations bien évidentes avec la Lune. Toujours selon ce même docteur, il est hors de doute que la Lune exerce une action énergique au point de vue cutané. « De l'avis de tous ceux qui se sont donné la peine d'observer, écrit-il, il y a des eczémas, des herpès, certains psoriasis, certains érythèmes prurigineux, certaines dermatoses qui coïncident avec les phases lunaires.

« Mais c'est surtout sur notre système nerveux que notre satellite agit énergiquement, continue le Dr Vergnes. Les fous,

les maniaques, les déséquilibrés, les épileptiques sont agités et plus nerveux que de coutume au moment de la Pleine Lune. J'ai connu un dégénéré alcoolique dont le caractère changeait d'une façon bien nette au moment de la Nouvelle Lune. J'ai soigné certains nerveux qui m'ont affirmé que leur sommeil était agité et entrecoupé de rêves et de cauchemars lorsque la Lune changeait de Quartier. J'ai observé, également, que certaines névralgies, certaines migraines, coïncidaient avec les mouvements lunaires. »

Dans le même ordre d'idées, le Dr Castollani a signalé une « migraine lunaire » provoquée par la Pleine Lune et le Dr Elori une « hémicranie alternante météoropathologique », caractérisée par de la céphalée, survenant, chez les sujets sympathicotoniques, d'un côté du crâne, puis de l'autre côté, suivant la phase lunaire.

A ces observations concernant les nerveux, nous ajouterons celles-ci. Nous avons connu un nerveux, plus ou moins insomniasque, qui dormait fort mal de la Nouvelle Lune à la Pleine Lune, malgré volets clos et rideaux tirés plongeant la chambre à coucher dans l'obscurité totale. Le sommeil redevenait continu après la Pleine Lune. Nous avons, aussi, longuement observé un oligurique qui urina peu de la Nouvelle Lune à la Pleine Lune; l'émission redevenait normale en Lune décroissante; il est à noter que la fonction urinaire est nettement influencée par le système nerveux.

Enfin, nous terminerons cette série d'observations médicales par la constatation suivante, faite par l'astronome J. Evéniaux et rapportée par le Dr H. Duprat : « La première menstruation chez la femme, à l'état de santé normale, s'établirait au moment où la Lune se trouve au même degré du Zodiaque qu'à la naissance, et, sans intervention de troubles morbides, la fonction se reproduirait mensuellement dans les mêmes conditions. »

Si, comme il ressort de ces observations, l'influence de la Lune n'est pas niable dans certains états pathologiques, elle apparaît, au moins aussi évidente, dans les phénomènes de reproduction, peut-être parce que ceux-ci, comme ceux-là, sensibilisent les organismes.

C'est ainsi qu'un grand nombre d'espèces inférieures, Annélides, Polychètes, Oursins, Huitres, Ecrevisses, etc., adaptent leur rythme de reproduction au rythme lunaire. *Nereis Dumerilii*, par exemple, observé dans la baie de Naples, se reproduit

à l'époque des Quadratures; il en est de même pour *Platénereis Dumerilli* qui vit en Europe sur les rivages de l'Atlantique. Par contre, la variété américaine essaime toujours aux syzygies, cependant que la forme japonaise fait son essaimage la veille de la Nouvelle Lune ou de la Pleine Lune de décembre.

Selon l'abbé Moreux, la quantité de germes microscopiques entraînés par les eaux suit une progression marquée du Premier Quartier à la Pleine Lune, pour diminuer ensuite.

D'après ce que nous en savons, les observations concernant l'action lunaire sur la reproduction des espèces supérieures sont moins précises que les précédentes; en voici quelques-unes qui méritent d'être retenues.

La durée de gestation de la Brebis est de cinq mois, moins quelques jours, soit cinq lunaisons. Pour la Vache, cette durée est de neuf mois plus une douzaine de jours, soit, par conséquent, dix lunaisons. De plus, les éleveurs disent que la Jument et la Vache mettent bas au « renouveau de la Lune » et que la Brebis agnelle « au plein ».

Comme on a pu s'en rendre compte, toutes ces observations concernent l'influence des phases lunaires. Pour clore ce chapitre, signalons un fait intéressant se rapportant au phénomène des nœuds; il a été communiqué par M. A. Krempf à l'Académie des Sciences.

Une colonie du genre *Favia* (coraux constructeurs de récifs) observée dans l'anse de Bich-Dam, sur la côte d'Annam, montre une série de bourrelets circulaires dont chacun correspond au cycle marégraphique de 18,2/3 années, en liaison avec le phénomène de rétrogradation des nœuds de la Lune. Comme les formations décrites se prêtent bien à la fossilisation, les documents fossiles correspondants permettront de déterminer, écrit M. Krempf, la durée du cycle de rétrogradation des nœuds de la Lune en remontant dans le passé.

Cette observation est extrêmement curieuse. Elle nous incite à penser que beaucoup de phénomènes physiologiques ou biologiques doivent être marqués par le cycle de 18 ans 2/3. La voie est ouverte aux chercheurs.

Bien entendu, nous ne savons rien du mécanisme de l'action lunaire sur les êtres vivants; on peut, toutefois, supposer que ce sont les facteurs attraction, magnétisme, électricité, lumière, radiations lunaires de nature inconnue qui agissent isolément ou simultanément, suivant les cas.

CHAPITRE II

CYCLES ET RYTHMES GÉOLOGIQUES

Les rythmes géologiques présentent un grand intérêt que quelques-uns d'entre eux règlent les activités de l'Homme, des animaux ainsi que certaines manifestations de la végétale. C'est, par exemple, un fait bien connu que les différentes positions de la Terre autour du Soleil qui sont la cause des saisons conditionnent profondément la vie végétale et animale.

De même, la rotation de notre Globe autour de son axe produit le jour et la nuit se traduit, chez l'Homme et chez la plupart des êtres vivants, par l'important rythme veille-sommeil.

Mais, en dehors de ces rythmes classiques, il en existe d'autres sur lesquels il convient d'attirer l'attention. Ce sont, dans le passé, les rythmes qui ont dominé l'histoire des cycles géologiques, et, à l'époque actuelle, les rythmes météorologiques, marins, glaciaires, fluviaux, etc., dont l'influence sur les êtres vivants est loin d'être négligeable.

Voyons-les successivement, et envisageons, d'abord, les grands cycles géologiques.

12. Aspects successifs du Globe

Au cours des temps géologiques, la surface de la Terre a changé plusieurs fois d'aspect, selon un rythme bien défini. De nos jours, les causes qui produisent ces transformations agissent encore.

En nous rendant dans une région montagneuse, nous pouvons constater, facilement, que les reliefs sont soumis à une action destructive des agents dynamiques externes.

Les variations de température désagrègent les roches, chargées de gaz carbonique les dissout, les eaux de ruissellement entraînent les parties meubles et les substances en suspension. Les torrents et les glaciers entament profondément

flancs de la montagne et transportent vers le bas des matériaux parfois considérables.

Les cours d'eau qui coulent dans les vallées emportent, vers l'aval, les éléments détritiques que les éboulements, les torrents, les glaciers y ont accumulés; ils les charrient jusque dans la plaine en abandonnant en route les plus volumineux; en même temps, ils se chargent de matériaux nouveaux empruntés à leurs berges et à leurs lits.

En se jetant dans la mer, les cours d'eau, devenus fleuves, déposent leurs alluvions.

Dans les déserts, des phénomènes analogues se produisent. Les roches soumises à des variations brusques de température éclatent, desquamant; les grès se transforment en sables, les granits en arènes. Le vent s'empare des produits de cette désagrégation et transporte, au loin, les reliefs.

Sur le bord des océans, les forces destructives jouent également. A marée haute, les vagues viennent déferler avec force contre le pied des falaises qui finissent par s'effondrer par tranches successives et reculer ainsi graduellement; la mer gagne sur les continents.

Ainsi, lentement, mais sûrement, les agents dynamiques externes détruisent les reliefs et les matériaux qui résultent de cette destruction sont emportés dans la mer ou viennent combler les dépressions.

En bref, nous dirons que les forces externes du Globe tendent à niveler la surface de la Terre.

Cette première phase du cycle géologique peut s'appeler la phase destructive ou *glyptogénèse*.

Les matériaux charriés par les fleuves, ceux provenant de la destruction des falaises, se déposent ou se placent, soit sur le pourtour des continents et jusqu'à une très grande distance des côtes, soit sur le littoral. Ils forment des sédiments. Sous diverses actions qui constituent ce que l'on appelle en géologie le métamorphisme, ces sédiments sont souvent transformés; les calcaires peuvent devenir des marbres, les argiles des schistes. Ainsi se forment des roches nouvelles.

Cette seconde phase du cycle géologique constitue la genèse des roches ou *lithogénèse*.

La lithogénèse précède l'*orogénèse* au cours de laquelle s'édifient les reliefs. Cette troisième et dernière phase du cycle géologique ne peut s'observer directement à cause de sa lenteur. Néanmoins, de nos jours, il se produit, certainement, des

soulèvements au fond des fosses marines; ces soulèvements donneront naissance, dans un temps indéterminé, à des chaînes de montagnes.

Quoi qu'il en soit, au cours des périodes géologiques, des plissements successifs produisent des chaînes montagneuses dont certaines sont à peu près complètement disparues.

Le cycle géologique comprend ainsi trois phases: *glyptogénèse*, *lithogénèse*, *orogénèse*. Nous retrouvons ces trois phases pendant les temps géologiques.

L'ère primaire fut marquée, à ses débuts, par une sédimentation active (*lithogénèse*). Des mouvements orogéniques puissants suivirent (*orogénèse*), auxquels succéda une période de dénudation (*glyptogénèse*).

Au début des temps secondaires, la mer envahit les régions antérieurement plissées, et, à ce moment, arasées en partie; de puissantes masses de sédiments se déposèrent en discordance sur les terrains primaires. Puis, à la fin du secondaire et au commencement du tertiaire, ces régions émergèrent. A notre époque, le cycle continue.

Ainsi, un perpétuel recommencement, un « Eternel Retour » (Nietzsche) se manifeste à la surface du globe qui se trouve soumis à la loi du cycle.

Notons que les renouvellements de la flore et de la faune s'accomplissent parallèlement au cycle géologique.

13. Rythmes particuliers

Envisageons, en premier lieu, quelques rythmes météorologiques.

Les variations diurnes et annuelles de la température sont bien connues; elles résultent, comme chacun le sait, de la position relative de la Terre et du Soleil et, aussi, des circonstances locales.

La pression atmosphérique diurne présente des variations rythmiques très nettes. Dans les régions tropicales, le baromètre enregistreur trace, chaque jour, une courbe très régulière avec deux maxima et deux minima; le baromètre monte de 4 h à 10 h, baisse de 10 h à 16 h, remonte de 16 h à 22 h et baisse, de nouveau, de 22 h à 4 h. Le maximum du matin est plus élevé que le maximum du soir et le minimum de l'après-midi est plus bas que celui du matin. L'amplitude de cette variation atteint normalement 2 mm, parfois 3 mm, et excep-

tionnellement 4 mm; on appelle cette variation la marée barométrique.

Quand on s'éloigne de l'équateur, l'amplitude de la marée barométrique diminue, mais elle est encore apparente jusqu'aux latitudes de 60 degrés.

On ne connaît pas encore exactement les causes de la marée barométrique.

Au milieu des continents, la pression atmosphérique est plus basse en été qu'en hiver. Sur les montagnes, c'est l'inverse qui a lieu.

L'humidité absolue de l'atmosphère est minimum vers le moment du lever du Soleil et maximum dans l'après-midi. Dans le courant de l'année, elle varie comme la température.

On possède peu de renseignements sur les heures de la journée où il tombe le plus de pluie. Certaines régions présentent un maximum le matin (cas des côtes du Golfe de Gascogne), d'autres, un maximum l'après-midi (cas de Paris en été). En mer, il pleut plus la nuit que le jour. Dans beaucoup de régions tropicales, la pluie est plus forte et plus fréquente l'après-midi.

Dans ces mêmes régions, les pluies présentent une variation annuelle très nette; il y a généralement deux saisons de pluies et deux saisons sèches. A mesure que l'on avance vers les tropiques, les deux saisons de pluies se rapprochent et finissent par se confondre; il n'existe, alors, qu'une saison sèche en hiver et une saison pluvieuse en été.

Dans les pays tempérés, les chutes de pluie n'obéissent pas à un rythme aussi net; en Europe, cependant, les pluies sont plus fréquentes l'hiver que l'été.

En dehors de ces rythmes atmosphériques dont la cause est généralement connue, il existe des rythmes météorologiques dont on ignore le mécanisme exact.

Voici, par exemple, ce que donnent les statistiques pour nos régions :

Périodes de froid : du 6 au 11 février, du 11 au 14 avril, du 9 au 14 mai, du 29 juin au 4 juillet, du 6 au 11 août, du 6 au 10 novembre.

Périodes de chaleur : du 12 au 15 juillet, du 12 au 15 août, vers le 11 novembre, du 3 au 14 décembre.

A Paris, un refroidissement, très net, se produit entre le 4 et le 11 mars. Enfin, le début du mois d'octobre est générale-

ment troublé par une tempête très violente suivie d'une période de temps chaud.

Il est intéressant de constater que plusieurs dictons s'appliquent à quelques-unes des dates indiquées. Ainsi, l'abaissement de température du 9 au 15 mai coïncide avec les fêtes des Saints de glace (St Mamert, St Pancrace, St Gervais). L'été de la St-Martin a lieu vers le 11 novembre. Pour beaucoup d'astronomes, l'abaissement de température observé du 9 au 15 mai serait dû à l'interposition annuelle d'un essaim d'astéroïdes, les Léonides, entre la Terre et le Soleil; une portion de la chaleur du Soleil se trouverait absorbée par les astéroïdes en question qui joueraient le rôle d'écran. Au contraire, six mois après, vers le 11 novembre, le même essaim se trouve de l'autre côté de la Terre, par rapport au Soleil; il servirait alors de réflecteur, d'où le surcroît de température qui constitue l'été de la Saint-Martin.

Les statistiques montrent, aussi, que certaines dates sont favorables aux chutes de pluies et qu'il en est d'autres où il ne pleut jamais ou très rarement.

Les dates où l'on a une chance sur deux, au moins, d'avoir de la pluie sont les suivantes :

20, 30 janvier; 23 avril, 13 mai, 24 juillet; 22, 23, 24 septembre; 8, 18 octobre; 2, 4, 6, 17, 27 décembre. Le 23 décembre est la date la plus pluvieuse; 48 fois sur 84, on a observé de la pluie.

Les dates où l'on a une chance sur trois, au plus, d'avoir de la pluie sont :

5, 18 février; 17, 26, 27, 29, 30 mars; 19 avril; 5, 19, 21, 24 mai; 12, 14, 24, 28 juin; 10, 11, 13, 14, 16, 22, 31 juillet; 1, 2, 25, 27 août; 2, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 26 septembre; 13, 20, 21, 23 octobre; 7, 10 décembre.

Le jour où l'on a le moins de chance d'avoir de la pluie est le 11 août.

Des études analogues ont été faites en Angleterre sur les coups de vent. Le 28 janvier et le 3 décembre sont les dates où l'on a observé le plus de coups de vent sur les côtes d'Irlande. Les jours d'hiver où les coups de vent sont le moins fréquents sont le 19 et le 20 décembre, le 4 février, le 21 et le 22 janvier. Une légère augmentation des coups de vent se produit vers le 30 mars et le 29 septembre. Le jour d'été où l'on a le plus de chance d'avoir un coup de vent est le 2 juin.

Pour terminer cette question des rythmes météorologiques,

disons qu'on a aussi essayé de découvrir des périodes de longue durée par le seul examen des statistiques; il semble bien que les tentatives de ce genre aient été, jusqu'à présent, assez vaines. Les observations météorologiques précises dont on dispose ne sont, en effet, pas encore assez anciennes pour permettre de déceler l'existence d'une période un peu longue.

La plus connue et la moins hasardeuse de ces périodes est celle de 33 ans signalée par Brückner. Elle est basée sur l'étude du niveau des lacs et des rivières et elle prétend indiquer la succession des périodes sèches et des périodes humides.

D'autres périodes ont été signalées, celle de 11 ans pour le retour des grands hivers en Europe, celle de 4 ans $2/3$ pour les pluies, de 3 ans $1/2$ pour la pression atmosphérique, etc.

Examinons maintenant d'autres rythmes géologiques.

Le débit des fleuves (et celui des rivières et des torrents également) varie d'une manière rythmique. Aux époques de sécheresse, il est faible; ce sont les périodes de « maigres ». Pendant les époques de pluies durables, de fonte des neiges, le débit est plus grand; ce sont les périodes de « crues ». Ces alternances de crues et de maigres sont régulières et liées aux changements de saisons.

La température annuelle des fleuves, et, en général, de toutes les eaux qui circulent à la surface de la Terre, présente, aussi, des oscillations rythmiques remarquables. Comparons la courbe de ces oscillations à celle des variations de température du corps humain en 24 heures, nous constatons que les deux graphiques peuvent se superposer. Dans son curieux ouvrage, « le Géon ou la Terre vivante », le Dr Jaworski note ce fait et l'interprète selon ses conceptions originales.

Comme les fleuves, les glaciers subissent des variations saisonnières. La position du front glaciaire n'est pas fixe; l'ablation est à peu près nulle en hiver et l'alimentation plus faible en été. Il en résulte une légère décroissance en été et une faible progression en hiver.

A ces oscillations peu importantes s'en superposent d'autres d'une amplitude plus grande et qui se reproduisent périodiquement à des intervalles de plusieurs années, 35 ans environ. De plus, d'après certains géologues (Ch. Rabot, en particulier), des variations dont la période embrasserait plusieurs siècles s'ajouteraient aux précédentes. Le rythme glaciaire apparaît donc assez compliqué. Ajoutons, enfin, que les géologues Koep-

pen, Wegener et Milankovitch, ont donné, récemment, une théorie rendant compte de la périodicité des glaciations du quaternaire. Cette théorie, basée sur des facteurs astronomiques dont les principaux sont la précession des équinoxes et les variations de l'obliquité et de l'excentricité de l'écliptique, ne se contente pas d'interpréter le passé, mais prévoit, aussi, le futur. Dans 20.000 ans, les glaciers de l'hémisphère nord entreraient en forte régression cependant que cet hémisphère se réchaufferait. Corrélativement, des modifications profondes apparaîtraient dans la flore et dans la faune de nos régions; ensuite, dans 50.000 ans, les glaciers s'étendraient, à nouveau, sur le nord de l'Amérique et de l'Europe, ce qui entraînerait une seconde transformation de la flore et de la faune; une période de réchauffement succéderait à l'ère de froid et, enfin, dans 80.000 ans, une très forte glaciation suivrait la phase précédente.

Il résulte de ces prévisions que les régions aujourd'hui florissantes seraient, successivement et plusieurs fois de suite, des étendues glacées et des déserts de sable.

La mer obéit également à un rythme bien connu.

Pendant 6 heures et quelques minutes, les eaux marines montent : c'est le flux; elles restent ensuite stationnaires : la mer est étiage; puis, pendant 6 heures environ, les eaux reculent : c'est le reflux. Nous savons que ces phénomènes sont dus à l'attraction combinée de la Lune et du Soleil, l'action de la Lune étant prépondérante.

De plus, chaque semaine, le niveau de la haute mer subit de légères variations. Pendant sept jours, les niveaux décroissent, et pendant les sept jours suivants croissent. Les sept jours de la semaine se trouvent ainsi marqués sur la côte par des alignements successifs d'algues et de débris divers.

Le sol, lui-même, oscille rythmiquement. Ce fait a été démontré pour la péninsule scandinave qui, au cours de l'ère quaternaire, subit successivement un affaissement, un soulèvement, un nouvel affaissement, et, enfin, un dernier soulèvement.

Ces affaissements et soulèvements alternatifs ont été également observés dans la région de Pouzzoles, près de Naples. Un temple romain, dédié à Jupiter Sérapis, s'est d'abord affaissé avec la côte pendant un certain temps, puis s'est exhaussé; actuellement, le temple s'enfonce de nouveau à raison de 7 millimètres par an.

Le sol français n'échappe pas à ce mouvement de bascule. Au xiv^e siècle, Jersey s'était séparée de Coutances que par un ruisseau, et une forêt s'étendait jusqu'au Mont Saint-Michel. De même, au v^e siècle, la baie de Douarnenez était occupée par la ville d'Ys. La côte de la Manche s'est donc enfoncée. A ce mouvement d'affaissement succédera probablement un soulèvement.

Toutes ces oscillations s'étendent sur plusieurs siècles; il en est de plus rapides; l'écorce terrestre est, en effet, soumise à des « marées » exactement comme l'est la mer; elle se dilate et se contracte rythmiquement comme le ferait une balle de caoutchouc alternativement pressée et relâchée. L'amplitude de la « marée terrestre » a été mesurée, elle est de 15 centimètres environ. Ce phénomène est quotidien et, comme pour la mer, résulte de l'attraction luni-solaire.

L'action de la Lune et du Soleil sur l'écorce de la Terre ne se limiterait pas à la production de marées. D'après une communication du Dr H.-T. Stetson à l'un des derniers congrès de l'Association américaine pour l'avancement des Sciences, la distance apparente entre New-York et Londres serait soumise à des variations diurnes et annuelles, produites par l'action du Soleil et de la Lune. Il paraît résulter des observations de trois ans que le jour de l'an Londres se trouve, en moyenne, de 39 pieds plus éloigné de Washington que le 4 juillet.

Enfin, le sol est presque constamment soumis à des tempêtes micro-séismiques de caractère périodique dont la durée varie de quelques heures à quelques jours. Leur amplitude moyenne présente une variation saisonnière très accentuée avec un maximum en janvier dans nos régions, en juin dans la zone tempérée de l'hémisphère Sud, en septembre dans la zone tropicale Nord, et en mars dans la zone tropicale Sud. Cette variation annuelle coïncide avec celle des cyclones.

On a montré que l'agitation micro-séismique était liée à la houle, dont l'intensité est, en partie, fonction de la pression atmosphérique. Les ondes de houle qui se transmettent en profondeur provoquent une oscillation du fond de la mer qui se propage, ensuite, dans l'intérieur des continents.

Les manifestations du volcanisme sont souvent rythmiques. Ainsi, à partir de l'an 79 de l'ère chrétienne, le Vésuve présente un paroxysme à peu près tous les cent ans. Depuis 1712, des périodes d'activité presque continues alternent avec des phases de repos de 2 à 7 ans.

D'autres volcans ont un régime plus régulier. C'est, par exemple, le cas du Stromboli. Les éruptions de ce volcan qui se traduisent par une ascension de la lave dans le fond du cratère et par une faible explosion se produisent, en général, à des intervalles très réguliers et ne dépassant pas deux minutes.

Les phénomènes volcaniques atténués, solfatares, suffioni, salses, geysers et sources thermales, ont généralement une activité rythmique. Le Grand Geyser d'Islande lance une colonne d'eau chaude de 3 mètres de diamètre à 30 ou 40 mètres de hauteur toutes les 24 ou 32 heures. Le Vieux Fidèle, du Parc de Yellowstone (Etats-Unis), entre en éruption toutes les 65 minutes. De même, on peut remarquer que le jaillissement de certaines sources thermales, celles de Vichy, en particulier, au lieu d'être continu, est tumultueux et accompagné de brusques pulsations.

Si le caractère intermittent de ces manifestations volcaniques mineures se comprend assez bien, celui des volcans proprement dits n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante.

14. Actions des Rythmes Météorologiques et Marins

On ignore si les rythmes glaciaires, fluviaux, volcaniques, etc., exercent une influence sur les êtres vivants. Par contre, le rôle des variations météorologiques est connu depuis longtemps. Nous allons l'examiner; nous verrons ensuite l'action biologique des rythmes marins.

Les statistiques de Schade en Allemagne, de Young en Amérique, l'enquête du Public Health Service aux Etats-Unis, celle récente de Van Loghem en Hollande, montrent que la morbidité augmente avec le froid. Sous l'influence d'un abaissement de température il se produit vraisemblablement, chez les individus fragiles, non adaptables, et particulièrement chez les thyroïdiens et les lymphatiques, une sorte de choc hémoclasique, point de départ d'une baisse de la résistance organique. Inversement, une forte élévation de température peut produire un effet analogue. Ainsi, pendant la période chaude de juin à octobre 1911, Paris a perdu 1.649 enfants au lieu de 716 en 1910.

L'action de l'humidité sur les rhumatisants est actuellement controversée. Par contre, les statistiques montrent qu'il existe une liaison étroite entre la mortalité et l'humidité atmosphérique. Bien que ceci puisse, à priori, sembler paradoxal, la mortalité diminue en hiver lorsque le degré hygrométrique aug-

mente. En été, au contraire, une forte humidité accroît le nombre des décès. C'est qu'en hiver, un accroissement de l'humidité fait monter la température et en atténue, par conséquent, la rigueur. En été, le facteur prépondérant qui intervient est l'augmentation des gouttelettes microbiennes; les risques de contagion se trouvent accrus. En résumé, on peut admettre qu'en hiver, l'humidité est généralement favorable et qu'en été, un état hygrométrique élevé est néfaste.

D'après les observations du Dr Loukachev, accomplies de 1923 à 1937 à la consultation neuro-psychiatrique de Briansk et poursuivies de 1942 à 1946, le temps pluvieux et humide est très favorable aux tabétiques, cependant que le temps sec aggrave les symptômes et les douleurs des parkinsoniens.

L'influence des variations barométriques a été surtout observée sur l'appareil circulatoire, l'appareil digestif et les organes génitaux.

Un abaissement de la pression atmosphérique produit, sur les cardiopathes, le même effet qu'une émotion ou un effort; s'il est notable, il peut être fatal.

La même cause provoque des troubles variés chez les hypertendus et des accidents congestifs chez les fébricitants et les tuberculeux.

Du côté du tube digestif, on observe, surtout chez les aérophages, des ballonnements et une diminution de l'appétit. Les cas d'appendicite, de perforation intestinale seraient plus fréquents en même période.

Les baisses barométriques seraient, aussi, responsables, paraît-il, de la montée des désirs chez les femmes. Par contre, l'état des neurasthéniques s'aggraverait en pareil cas.

La croissance des kystes, les poussées d'œdèmes pulmonaires, le maximum de mortalité en cas d'épidémies coïncideraient avec les phases de dépression.

Enfin, les hausses barométriques constitueraient une mauvaise période pour les hyperthyroïdiens.

L'influence du vent est connue depuis longtemps. Le vent du Midi, à Lyon, est la cause du « coup de sécheresse » chez le nourrisson. Le sirocco de l'Afrique du Nord augmente, également, la mortalité chez les enfants en bas âge. Dans les deux cas, le vent produit une déshydratation des jeunes organismes.

Le « levante » qui souffle de la Méditerranée vers l'Océan, le « föhn » du Tyrol provoquent agitation, insomnie, maux de

tête, irritation psychique et crachements de sang chez les tuberculeux.

Les animaux sont également sensibles au vent; c'est ainsi qu'ils hésitent à sortir si le vent est un peu fort; les pêcheurs savent que le poisson ne « mord pas » par temps venteux.

Les différentes influences biologiques de la pression atmosphérique et du vent sont assez difficiles à expliquer.

Des expériences précises ont montré que ces deux agents n'exercent pas d'action directe sur la pression artérielle.

Certains physiologistes pensent que les fluctuations barométriques agissent sur le système nerveux; d'autres croient à une influence sur les endocrines; quelques-uns prétendent qu'aux variations de pression correspondent des modifications du p_{H_2} sanguin. Enfin, un abaissement de pression favoriserait la formation des gouttelettes microbiennes d'où, en cas d'épidémie, l'augmentation de la mortalité lorsque la pression atmosphérique diminue.

Comme on le voit, le mécanisme général reste à découvrir. En fait, il est probable que tous les organes répondent, avec plus ou moins d'intensité, aux sollicitations extérieures (qu'il s'agisse de la pression atmosphérique, du magnétisme, de l'électricité tellurique, etc.); la diversité des explications tiendrait essentiellement à la spécialisation des recherches.

En tout cas, le thérapeute peut tirer de ces faits des indications précieuses concernant les cures climatiques et les lieux d'habitation à conseiller aux malades.

Remarquons, à nouveau (voir § 9), que certains sujets sont capables de prévoir les changements météorologiques, et cela plusieurs heures et, parfois, plusieurs jours à l'avance. Il en est qui sentent la neige, l'approche de l'orage alors que le ciel est encore serein, l'arrivée de la pluie ou du vent. Dans cet ordre d'idées, le professeur Georges Mouriquand, de Lyon, a longuement et minutieusement étudié un enfant de sept ans, fils du directeur d'une station météorologique, qui présentait toujours des vomissements acétonémiques avant que les appareils indiquassent des variations météorologiques importantes. Ces troubles s'atténuaient et disparaissaient lorsque le vent était au sol et que les instruments marquaient une élévation thermique, une baisse hygrométrique et une baisse barométrique caractéristiques de ce vent. Sur d'autres malades, le professeur Mouriquand a observé des excitations nerveuses parfois intenses, des crises d'asthme, des douleurs rhumatismales,

etc., manifestement liées à des phénomènes météorologiques non encore installés.

Bien entendu, tous les individus ne sont pas sensibles aux variations météorologiques. Beaucoup ne sont « cliniquement » influencés ni par les variations de pression atmosphérique, ni par le vent du Midi, ni par la neige, ni par l'orage. On dit qu'ils sont météorostables. Les organismes sensibles sont météorolabiles; il semble que ce soient surtout les sujets neuro-hépato-arthritiques qui rentrent dans cette catégorie, c'est-à-dire les sujets présentant, le plus souvent, de l'intolérance alimentaire aux graisses, aux œufs, etc., qui sont atteints dans l'enfance par l'eczéma, l'urticaire, qui sont sujets aux crises d'asthme, d'acétonurie, en bref, tous les organismes sensibilisés vis-à-vis des chocs sévères alimentaires ou autres et qui sont en état de perpétuelle instabilité humorale. Au surplus, cette sensibilité présente des variations avec l'âge, la nourriture et d'autres influences; elle tend, généralement, à s'atténuer à mesure que le sujet vieillit; elle peut être accentuée par une nourriture incorrecte alors qu'un régime alimentaire approprié, une thérapeutique visant généralement les fonctions hépatico-rénales sont susceptibles de la faire disparaître plus ou moins complètement.

Enfin, les changements climatiques peuvent modifier profondément la sensibilité météorologique. Tel sujet qui est asthmatique à la ville, voit disparaître ses troubles à la campagne, à la mer, et surtout à la montagne (Mont Dore). Le cas de l'enfant cité par le professeur Mouriquand est, à cet égard, particulièrement significatif : « Alors qu'à la ville, écrit le professeur, le moindre écart de régime provoquait des crises, un régime non surveillé à l'altitude n'en provoque plus. Mais il y a mieux : cet enfant, si sensible au brouillard et au vent du Midi à la ville, supporte, à l'altitude de 1.000 mètres, ce brouillard et ce vent (parfois en tornade), de façon remarquable, sans ébaucher la moindre crise d'asthme. Dès son retour à la ville, la météorolabilité réapparaît (crises par brouillard et vent du Midi) avec l'intolérance alimentaire. »

Examinons maintenant l'action biologique de la marée.

M. Gonji a constaté, au laboratoire biologique de Roscoff, que tous les animaux littoraux suivaient, par l'intensité respiratoire, le flux et le reflux de la mer. Ils consomment moins d'oxygène au moment de la marée et le minimum quand la mer s'est retirée.

D'autre part, la marée soumet les organismes du littoral à des alternances de vie atmosphérique et de vie aquatique qui conditionnent leur activité; cela est d'observation courante et n'a rien de surprenant, mais, ce qui est assez étonnant, c'est que le rythme de la mer s'enregistre chez certains d'entre eux; le fait a été tout particulièrement constaté chez des petits Vers marins, les *Convoluta*.

A marée basse, les *Convoluta* sortent du sable pour se chauffer au Soleil; serrés les uns contre les autres, ils forment une tache verte, quelquefois si dense et si étendue qu'on pourrait croire à une véritable prairie.

Dès que la mer revient, les *Convoluta* rentrent dans le sable et y restent jusqu'à la fin de la marée haute. Ainsi, ces petits êtres suivent les mouvements rythmiques de la mer.

Leurs mouvements périodiques apparaissent, a priori, faciles à expliquer; on pense immédiatement : c'est le contact de l'eau de mer qui les détermine. En réalité, cette explication est un peu simpliste.

Recueillons des *Convoluta* et plaçons-les dans un aquarium. Transportons, ensuite, l'aquarium loin du rivage, à cinquante kilomètres, par exemple. A cette distance, les mouvements de la marée ne peuvent plus être ressentis. Or, fait étrange, dans leur aquarium, nos Vers accomplissent, exactement comme dans la mer, leurs mouvements de montée et de descente, en rapport avec la marée.

Remarquons, d'ailleurs, que la marée, comme chacun le sait, n'a pas lieu chaque jour à la même heure. Si, aujourd'hui, la pleine mer est à midi exactement, elle se produira, demain, à midi cinquante minutes, après-demain à une heure quarante, etc. En règle générale, l'heure de la marée subit, chaque jour, un retard de cinquante minutes environ sur le jour précédent.

Eh bien! malgré ce décalage, les Vers en aquarium sortent et rentrent dans le sable à l'heure voulue, comme s'ils connaissaient avec précision le décalage en question. Bien plus, pendant les périodes d'eaux basses, leurs mouvements sont plus lents, tandis qu'ils sont plus rapides en périodes de pleines eaux, et, en cela, les *Convoluta* en aquarium se comportent comme ceux restés sur le rivage.

On a essayé de troubler les *Convoluta* dans leurs mouvements, par exemple, en les maintenant immobiles pendant quelques jours. Malgré cette perturbation, le rythme de montée et de descente a repris ensuite régulièrement.

Depuis peu, on sait que les *Convoluta* ne sont pas les seuls êtres qui subissent l'action de la marée. Une *Littorine* (mollusque), une *Annélide* (ver annelé), une *Diatomée*, etc., se comportent, dans l'aquarium, comme les *Convoluta*.

Comment expliquer ces faits ?

On pourrait admettre que les *Convoluta* et les êtres similaires « sentent » la marée à distance. Cette hypothèse ne serait pas la bonne.

Comme toujours, l'observation et l'expérimentation nous permettent de donner de ces faits une explication rationnelle.

Au bout de quelques mois, on constate, en effet, que les *Convoluta* en aquarium perdent leur faculté de suivre les mouvements périodiques de la mer. Remis dans le milieu marin pendant quelques semaines, ils reprennent régulièrement leurs mouvements pendulaires, conformément à ceux de la mer. Tout se passe comme si les *Convoluta* réapprenaient ce qu'ils avaient progressivement oublié. Ainsi, l'explication qui s'impose est que les *Convoluta* et les autres êtres que nous avons signalés possèdent une sorte de mémoire organique. Le rythme des marées s'enregistre en eux par un phénomène d'induction dont le mécanisme intime nous est encore totalement inconnu.

Enfin, l'Homme est également sensible à la marée. Les médecins de la Vendée ont constaté, en effet, qu'il existe un rapport étroit entre la marée et le rythme de certaines crises fébriles, notamment chez les paludéens et les infectés.

15. Variations du champ magnétique terrestre

Le fait qu'une aiguille aimantée s'oriente, en un même lieu, dans une direction déterminée, indique qu'il existe un champ magnétique terrestre. L'origine de ce champ est encore peu connue. On admet, en général, qu'il est dû, pour la plus grande part, à des actions intérieures (aimantation des matières entrant dans la composition du Globe (1), action des courants électriques internes), et, pour une faible part, à des actions extérieures (courants électriques circulant dans les hautes ré-

(1) D'après le professeur Blackett, de l'Université de Manchester, le champ magnétique terrestre serait dû à la rotation de notre Globe. On a remarqué, en effet, qu'il existe une proportionnalité entre les champs magnétiques du Soleil et de la Terre, proportionnalité qui fait intervenir la masse, le rayon et la vitesse angulaire des deux corps. Cette règle s'énonce ainsi : le moment magnétique est proportionnel au moment cinétique.

En bref, on peut dire qu'un corps qui tourne constitue un aimant.

gions de l'atmosphère, champ électrique du Soleil, déterminant, par induction, un champ magnétique). Il serait intéressant d'approfondir ce dernier point; nous verrons que, dans le Cosmos, tous les astres sont solitaires.

Quoi qu'il en soit, l'étude systématique de la direction de l'aiguille aimantée montre que le champ magnétique terrestre subit des variations séculaires et des variations périodiques.

Variations séculaires. — La déclinaison (angle que fait l'aiguille aimantée avec la direction Nord-Sud géographique) était orientale avant 1662 et semble avoir passé par un maximum de 9 degrés vers 1880. Elle a, ensuite, diminué jusqu'en 1962, époque où elle a été nulle, puis elle est devenue occidentale.

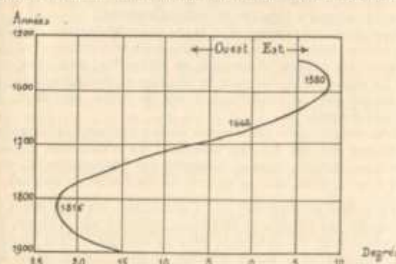


FIG. 13. — Variation séculaire de la déclinaison magnétique.

et a augmenté jusqu'en 1816 où elle a passé par un maximum de 22 degrés 5. Depuis ce temps, elle décroît constamment, de façon continue, tout en restant occidentale. Elle redeviendra probablement nulle vers 1970 (fig. 13).

L'inclinaison (angle que fait l'aiguille aimantée avec le plan horizontal) est soumise à des oscillations analogues.

Moins connues sont les variations de l'intensité du champ magnétique. Les études faites depuis 1903 montrent, cependant, qu'elles sont également soumises à la loi du rythme.

Il est intéressant de signaler, ici, comment on peut retrouver le champ magnétique terrestre d'un lointain passé. Le prin-

cipe de cette détermination est le suivant : les terres cuites s'aimantent faiblement pendant leur refroidissement; revenues à la température ordinaire, elles gardent leur aimantation tant qu'elles ne sont pas fortement chauffées; de même, les roches volcaniques qui se refroidissent dans le champ magnétique terrestre conservent leur aimantation. Fait remarquable, l'aimantation thermomagnétique a pour direction celle qu'avait le champ terrestre au moment du refroidissement.

Dans ces conditions, on comprend, facilement, comment on peut retrouver la direction du champ magnétique passé. On prélève, par exemple, un bloc de lave après avoir repéré son orientation sur le terrain, puis on détermine la direction de son moment magnétique; on trouve, ainsi, la direction du champ principal à l'époque du refroidissement.

Les résultats fournis par l'étude des aimantations fossiles sont encore fragmentaires; néanmoins, en ce qui concerne, par exemple, les coulées historiques de l'Etna, on peut constater que les valeurs trouvées pour la déclinaison prolongent bien la courbe actuelle et conduisent à une variation périodique de 750 ans environ.

Les variations de l'inclinaison depuis 1490 ont été étudiées en France sur des briques provenant de monuments historiques. Les courbes obtenues indiquent que l'inclinaison est soumise à un rythme dont la période est de l'ordre de 500 ans.

Variations périodiques. — La déclinaison varie au cours de la journée. Au Parc-Saint-Maur, elle présente un maximum un peu après midi, un minimum dans la matinée et une oscillation beaucoup plus faible pendant la nuit. L'écart entre les deux extrêmes dépasse, rarement, 10 à 12 minutes d'arc. Pour les différents points du Globe, on trouve des variations analogues, mais avec une influence de la latitude et des caractères différents suivant les saisons.

Déclinaison, inclinaison, intensité du champ magnétique varient également rythmiquement au cours de l'année. Les oscillations annuelles de la déclinaison sont très peu sensibles; les autres éléments, au contraire, présentent une variation nette. L'inclinaison a un minimum en été et un maximum en hiver. L'intensité du champ présente, au contraire, un maximum en été et un minimum en hiver.

Autres variations. — On a cherché à mettre en évidence d'autres périodes correspondant à des phénomènes solaires

ou lunaires. Les résultats les plus nets sont ceux concernant la période des taches solaires.

On a constaté que l'amplitude des variations diurnes est plus grande aux époques de maxima des taches; par contre, l'intensité du champ magnétique terrestre diminuerait lorsque l'activité des taches croît, mais ce fait n'est pas certain. Enfin, il est très net que les orages magnétiques terrestres sont concomitants de la présence d'un groupe important de taches solaires au voisinage du méridien central du Soleil.

Courants telluriques. — Réunissons par un fil conducteur deux plaques métalliques enfoncées dans le sol à une certaine distance, et intercalons un galvanomètre sur le fil. Nous pouvons constater que des courants électriques circulent dans le conducteur avec des variations continues d'intensité et de sens.

Les physiciens qui ont étudié ces courants s'accordent à reconnaître une relation générale entre leurs variations et celles du champ magnétique terrestre. Par conséquent, les courants électriques qui parcourent la Terre présentent des oscillations rythmiques.

16. Action du magnétisme sur les organismes

Nous décrirons, d'abord, quelques récentes expériences mettant en évidence l'action du magnétisme sur les êtres vivants; nous verrons ensuite l'influence du magnétisme terrestre sur l'Homme.

De jeunes cellules de levure sont soumises, pour une courte période de temps, à un champ magnétique 25 fois plus intense que le magnétisme terrestre. On constate, alors, une notable inhibition du bourgeonnement; la diminution va de 20 à 30 % par rapport au phénomène normal. Lorsque l'aimant est effluqué par un écran n'affectant pas le champ magnétique, le phénomène inhibiteur persiste, mais, lorsque le champ est intercepté par un écran de fer, il n'y a pas d'inhibition et les cellules de levure continuent à bourgeonner au taux normal.

Des grains de pollen sont placés dans un champ magnétique. Leur structure reste apparemment identique à ce qu'elle était avant l'expérience. Cependant, si ce pollen féconde une fleur normale, on obtient des grains qui donnent naissance à des individus s'écartant considérablement de la forme primitive. Les modifications sont souvent étranges, monstrueuses.

ses : ce sont des étamines qui surgissent au milieu de l'ovaire, des tiges florifères qui naissent dans les nervures des feuilles et se développent jusqu'à donner le fruit. Dans certains cas, on a des plantes naines, dans d'autres, des plantes géantes; des végétaux qui ne fleurissent normalement qu'une fois présentent plusieurs floraisons, etc. L'espèce est « affolée ».

Remarquons que, dans toutes ces expériences, les variations de champ sont relativement brutales, d'où les perturbations profondes observées. Les fluctuations du champ magnétique terrestre sont moins importantes, plus lentes à se produire, plus douces en un mot; néanmoins, comme semblent le montrer les expériences du Docteur Abrams, reprises, en France, par le Docteur Regnault, elles affecteraient les organismes, et l'Homme, en particulier.

Le Dr Regnault place un sujet, face à l'ouest, debout, les pieds séparés, sur deux plaques d'aluminium reliées à la Terre. Il délimite alors, par percussion légère, quelques gros organes, fœs, cœur, estomac. Ensuite, il fait tourner le sujet de façon à le placer face au nord ou face au sud et recommence à délimiter les organes par le même procédé de percussion. Dans ces conditions, il trouve des limites différentes: la variation atteint 15 à 20 millimètres pour le bord inférieur du fœs. En faisant replacer le sujet face à l'ouest, l'expérimentateur retrouve les premières limites.

En étudiant, d'autre part, la composition du sang des sujets en expérience, le Dr Regnault trouve, pour un sujet placé face à l'ouest, 4.500.000 globules rouges par millimètre cube de sang, avec 14 % de leucocytes, et, dans la position face au nord, 4.166.000 globules rouges et 23 % de leucocytes. Enfin, chez les sujets couchés, le Dr Regnault constate que la tension artérielle et l'amplitude du pouls présentent un maximum quand les pieds sont vers l'ouest et un minimum lorsque la tête est au nord et les pieds au sud. De cette dernière expérience, le Dr Regnault tire cette conclusion suivante qui peut intéresser les insomniaques : la position tête au nord et pieds au sud sera la meilleure pour se reposer, puisque c'est celle dans laquelle il y a le minimum d'activité dans l'organisme.

C'était également l'avis de Reichenbach, du Dr Féré, de Du-chatel et de Warcollier.

Notons que, pour mieux dormir, bien des nerveux adoptent, instinctivement, cette orientation sans connaître les travaux des auteurs précités.

On comprend qu'aux changements d'orientation correspon-

dent des modifications du flux traversant le sujet en expérience. Par conséquent, lorsque le champ magnétique terrestre augmente ou diminue, des transformations organiques peuvent se produire chez les êtres vivants (1).

17. Radiations telluriques de nature inconnue

Notre Globe n'est pas seulement le siège de manifestations électriques et magnétiques; des radiations de nature inconnue émanent de son sous-sol, et, fait important, ces radiations semblent cancérogènes.

Les expériences qui les mettent en évidence et qui précisent leur rôle n'ont pas la même valeur scientifique; certaines d'entre elles résultent de l'emploi de la baguette ou du pendule; nous les considérons comme vicieuses à la base, donc douteuses, sinon suspectes; nous n'en ferons pas état. Les autres, effectuées à l'aide d'appareils de physique (dans lesquels, bien entendu, la sensibilité humaine n'entre pas en jeu) et menées avec tout le soin désirable, ont une valeur scientifique indiscutable. Parmi ces dernières, celles de l'ingénieur Cody nous semblent les plus probantes.

Les recherches de ce technicien ont porté sur 18 maisons où des personnes étaient mortes de cancer. Un électromètre fut installé dans la cave, exactement au-dessous du lit que le malade occupait habituellement. L'appareil se déchargea en quelques secondes, mettant ainsi, en évidence, l'existence d'un fort rayonnement. Des plaques photographiques pour rayons X placées en cet endroit furent impressionnées; après interpolation d'une plaque de plomb entre elles et le sol, elles restèrent vierges, ce qui montra que l'émission était vraisemblablement de nature radio-active.

La contre-épreuve consista à reproduire les mêmes essais dans les autres caves de l'immeuble. Elle fut décisive; électromètre et plaques photographiques ne manifestèrent aucune réaction. Un résultat identiquement négatif fut obtenu dans les maisons où aucun cas de cancer n'avait été signalé.

De plus, il fut constaté que le faisceau de radiations est très étroit. Ainsi, deux électromètres furent placés dans la cave suspecte, l'un exactement au-dessous du lit du cancéreux, l'autre à deux mètres de distance; tandis que le premier était

(1) Certaines expériences du Dr Regnault reprises récemment n'ont pas été confirmées, ni infirmées. On ne peut donc pas les considérer comme définitives.

déchargé en 53 secondes, l'autre le fut en 581 secondes. Dans certains cas, la distance entre les deux appareils accusant des vitesses très différentes de décharge ne dépassa pas 50 centimètres.

Des recherches ultérieures montrèrent, enfin, que l'activité des radiations varie au cours d'une journée, qu'elle change aussi, d'un jour à l'autre, d'un mois à l'autre. Le maximum a lieu en été, le minimum en février. En un mot, cette activité est rythmique. Des facteurs locaux, chaleur, froid, pluie, orage, etc., la modifient également.

On ignore encore l'origine et la nature de ce rayonnement; quelques physiciens pensent qu'il s'agit d'une émission de neutrons, lesquels sont très pénétrants et considérés comme dix-huit fois plus nocifs que les rayons X.

18. Influence des connexions au sol

Aux expériences de l'ingénieur Cody que nous venons de relater brièvement, il convient de rattacher les travaux poursuivis, depuis quelques années, par les professeurs Viès et Coulon de la Faculté de Médecine de Strasbourg. Ces savants ont recherché l'action que peut avoir l'isolement du sol sur les organismes en voie de développement.

Deux pots contenant la même terre et recevant les mêmes grains d'avoine sont placés sur une planchette paraffinée, suspendue au plafond au moyen de cordelettes et d'isolateurs. L'un des pots communique avec le sol, par l'intermédiaire d'un conducteur; l'autre reste isolé. Après la croissance, on détermine le poids des plantes de chaque pot; on constate alors que la récolte dans le pot isolé est moitié plus forte que dans le pot relié au sol. L'expérience a porté sur 20.000 plantules d'avoine et d'ivraie. La connexion au sol a toujours entraîné une importante baisse de rendement.

De plus, l'étude minutieuse de la terre des pots a montré que la constitution chimique des deux lots de terre n'évoluait pas de façon identique. En particulier, le coefficient RH baisse considérablement dans les pots isolés et beaucoup moins dans les pots au sol.

Autre expérience: des lots de Souris normales sont électriquement isolées du sol ou, au contraire, en relation avec lui. Toutes les Souris, par ailleurs, sont traitées de la même façon. Il apparaît, alors, entre les deux groupes, des inégalités importantes dans la fréquence des cancers spontanés; on constate

1 cas de cancer pour 1.000 Souris dans la cage isolée et 40 cas pour 1.000 dans la cage connectée; la connexion au sol multiplie par 40 le risque de cancéralisation.

Expérience avec des bébés: trois berceaux sont isolés du sol, trois autres y sont reliés. On note l'augmentation journalière du poids des enfants pendant une semaine, puis on inverse les conditions de l'expérience: les bébés précédemment isolés sont maintenant reliés au sol et réciproquement. Voici ce que l'on constate: à chaque isolement du sol correspond une augmentation rapide du poids des nourrissons; la connexion au sol, par contre, produit une diminution de croissance.

Pour le moment, il est difficile d'interpréter ces faits. Les organismes vivants constituent, en effet, des réactifs extrêmement complexes, à variables nombreuses, et pour tirer au clair les expériences relatées, pour en saisir l'exacte signification, il faudrait isoler les variables. Nous savons, d'ailleurs, que MM. Viès et Coulon s'y sont déjà employés en expérimentant avec des systèmes physico-chimiques tels que suspensions colloïdales, indicateurs colorés, etc.

Quel que soit le résultat de leurs nouvelles recherches, il est tout de même permis de dire, dès maintenant, que, du sol, se dégagent des radiations nuisibles aux êtres vivants, ou plutôt, des radiations qui, en certaines circonstances, deviennent défavorables, par exemple, lorsqu'elles agissent trop longtemps et cette conclusion, soulignons-le, ressort aussi bien des expériences des auteurs précités que de celles de l'ingénieur Cody.

19. Action du champ Terre-Atmosphère

La Terre se comportant généralement comme un conducteur négatif et l'atmosphère étant positivement chargée, il existe une différence de potentiel entre le sol et l'air. Cette différence de potentiel crée un champ électrique. On sait, depuis peu, que ce champ varie rythmiquement au cours des 24 heures. À 4 heures du matin, le champ Terre-Atmosphère présente un minimum d'intensité; vers la fin de la journée, il atteint sa valeur maximum, environ double du minimum. En hiver, son intensité moyenne est plus grande qu'en été (fig. 14).

À la campagne, le champ Terre-Atmosphère est, le plus souvent, positif; dans les vallées profondes, dans les forêts, à la ville, il est nul; dans les grottes, négatif.

Les recherches du professeur Pech de la Faculté de Mont-

pellier ont mis en évidence l'action de ce champ sur les êtres vivants.

A l'aide de grilles métalliques reliées au pôle d'un générateur, Pech réalisa des champs de sens et d'intensité variables. Les sujets en expérience qui, en l'occurrence, furent des végétaux, étaient placés sous ces grilles et mis en communication, d'autre part, avec le pôle resté libre.

Dans ces conditions, Pech constate qu'en champ positif

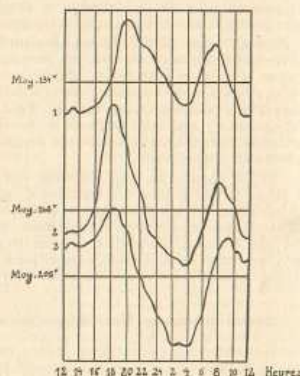


FIG. 14. — Variation journalière de l'électricité atmosphérique à 1 m 40 du sol (Bureau Central météorologique). Les différences entre les maxima et les minima sont de 60 volts, au maximum.
1) Régime d'été. — 2) Régime d'automne. — 3) Régime d'hiver.

certaines plantes, comme le Persil, les Radis, colonisent normalement et résistent bien aux attaques des Insectes; par contre, en champ négatif ou neutre et dès la deuxième génération, ces plantes deviennent stériles et ne s'opposent plus à l'action des Insectes. L'espèce s'éteint.

Dans la nature, Pech a vu que les Bruyères, le Buis colo-

nisent en champ positif, les Genêts, les Fougères, en champ nul, certaines variétés de Mousses, en champ négatif. En transplantant l'un de ces individus dans des champs à sens différent, l'espèce s'éteint.

Le comportement des animaux est analogue. Les Poules, les Canaris se développent et se reproduisent normalement en champ positif. En champ nul, dès la quatrième génération, un grand nombre de leurs œufs sont inféconds; à la septième génération, beaucoup de pondeuses présentent des tumeurs malignes de l'ovaire. De même, les Chiens et les Chats colonisent en champ positif, mais disparaissent en champ nul. Par contre, les Lapins se reproduisent bien en champ nul, mais s'éteignent rapidement en champ de valeur notable; les femelles avortent, les descendants meurent.

Dans la recherche de leur nourriture, les animaux et surtout ceux qui vivent en troupeaux, sont influencés par les champs électriques: les Lapins ne broutent que dans les atmosphères à champ nul, les Moutons préfèrent les champs positifs; les Insectes ne volent qu'en champ neutre ou négatif.

Les observations de Pech sur l'Homme sont particulièrement intéressantes à cause des applications hygiéniques et médicales qu'elles peuvent comporter.

D'après Pech, les habitants fixés depuis deux générations, au moins, dans les villages à champ électrique positif sont indemnes de tuberculose et de cancer; de plus, ils résistent bien aux épidémies. Ces campagnards deviennent, par contre, particulièrement sensibles au bacille de Koch s'ils vont habiter la ville. Les charbonniers, les forestiers, vivant en champ nul, sont atteints de tuberculose et de cancer et sont sujets aux maladies contagieuses au même titre que les habitants des villes.

L'observation suivante qui a les caractères d'une véritable expérience corrobore les constatations précédentes.

Un village, autrefois situé dans une vallée à champ nul, était régulièrement ravagé par les épidémies. Après avoir été rebâti sur un sommet du voisinage, on vit les maladies contagieuses disparaître, cependant que les différentes familles de meuniers restées dans la vallée s'éteignaient successivement par tuberculose et stérilité.

Enfin, Pech signale que les tuberculeux pulmonaires peu atteints guérissent si, progressivement, on les amène à vivre dans un champ notable. Par contre, ceux qui, plus gravement malades, sont susceptibles d'une longue survie en champ nul,

risquent de mourir si on les transporte, brusquement, dans un champ positif.

20. Mouvements de la Terre. — Rythmes quotidiens chez les animaux

Parmi les mouvements de la Terre, deux seulement retiendront notre attention, celui de rotation et celui de translation autour du Soleil. Le premier est la cause du jour et de la nuit, le second, des saisons. Ces deux mouvements étant bien connus, nous ne les décrivons pas, ce qui nous permettra d'aborder, immédiatement, l'étude de quelques phénomènes rythmiques quotidiens et saisonniers.

L'activité rythmique quotidienne de l'Homme est manifeste et se traduit, généralement, par une période de veille et de travail, suivie d'une autre, plus courte, de repos et de sommeil. La phase veille correspond, le plus souvent, au jour et la phase sommeil, que nous étudierons plus loin, à la nuit.

Chez les animaux, les phases d'activité et de repos sont beaucoup plus difficiles à distinguer que chez l'Homme; cependant, grâce à un ingénieux procédé d'enregistrement, Szymanski a réussi à les mettre en évidence.

Les recherches de cet auteur ont mis en lumière l'existence de deux sortes de comportements (fig. 15).

L'un, appelé monphasique, est caractérisé par deux grandes phases, l'une d'activité, l'autre de repos. Le type monphasique se rencontre chez les Oiseaux comme le Canari, chez le Poisson rouge, les Serpents, les Mouches; l'Homme appartient également à ce type. L'autre comportement, appelé polyphasique, présente une série de phases d'activité et de repos qui se suivent selon des rythmes divers suivant les espèces animales. Chez le Lapin, la Souris, ces phases se succèdent de façon ininterrompue. Chez la Grenouille verte, la longue phase d'inactivité n'est coupée que deux fois par une brève période de mobilité. Chez le Chat, nous avons une alternance de phases, mais la phase de repos est toujours plus longue que celle de mobilité.

Le type polyphasique se rencontre, encore, chez la Blatte, l'Ecrevisse, le Lombric, l'Escargot, le Rat blanc, et, aussi, chez l'Homme dans la première année de sa vie: le nourrisson présente, au cours des vingt-quatre heures, 5 ou 6 périodes de veille coupées par autant de périodes de sommeil.

Le cas du Chat est assez curieux. Le Chat sauvage est un animal nocturne, alors que le Chat domestique, bien que poly-

phasique, dort plus la nuit que le jour; ce dernier présente donc une ébauche d'adaptation au régime quotidien de l'Homme, adaptation d'ailleurs peu profonde, car, laissé en liberté, l'animal reprend vite les habitudes de son ancêtre.

Szymanski a précisé, pour un grand nombre d'animaux, le « quotient d'activité motrice », c'est-à-dire le rapport entre les temps d'activité et de repos dans l'espace de 24 heures, et il a été surpris de constater que l'activité déployée par les animaux, même par ceux réputés inertes ou paresseux, est souvent très grande. Ainsi, l'Ecrevisse est active pendant sept heures et demie, l'Escargot pendant dix heures et le Ver de

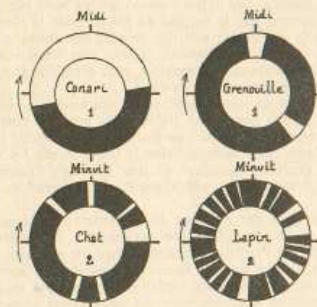


FIG. 15. — Actogrammes : 1) Du type monphasique. — 2) Du type polyphasique. Les secteurs blancs correspondent à l'activité, les noirs, au repos (sommeil compris).

terre pendant treize heures. Ce rapport serait constant pour chaque espèce, à une saison et à un stade déterminés; il est d'autant plus constant que l'animal est plus élevé dans l'échelle ontologique. Il y a, de plus, dans les 24 heures, chez toutes les espèces examinées, une ou plusieurs périodes d'activité plus intenses que d'autres; chez la Couleuvre, par exemple, la période principale d'activité se trouve aux premières heures de l'après-midi; par contre, la Blatte, l'Ecrevisse, l'Escargot, la Souris et le Rat sont surtout actifs la nuit.

Quel est le mécanisme des comportements monophasique et polyphasique ?

Tout d'abord, la cause première de l'alternance des phases, activité, repos, doit être recherchée, soit dans l'usure des cellules et la nécessité de leur restauration, soit dans une sorte de polarisation des centres nerveux ou du tissu vivant, en vertu de laquelle les réactions changent automatiquement de signe au bout d'un certain temps, car « toute action qui tend à déformer l'organisme suscite une réaction, en sens contraire, destinée à annuler cette déformation » (Le Dantec, Bohn).

Quant à la forme même du rythme, elle relève d'un déterminisme complexe. Les types monophasiques sont régis, dans une large mesure, par la marche du Soleil ; pour la plupart, la lumière, seule, règle leur activité ; ce sont des animaux « optiques ». Chez certains, le facteur chaleur peut aussi entrer en jeu, chez les Serpents, par exemple, plus sensibles aux variations de température qu'à la lumière.

Les animaux du type polyphasique, par contre, ne sont pas « optiques » d'une façon bien nette. Chez eux, un autre sens est prépondérant. C'est, par exemple, le sens olfactif chez la Souris, le Lapin ; le sens tactile chez le Lombric, etc. La lumière n'est plus l'excitant principal de leur activité ; d'autres facteurs interviennent vraisemblablement : faim, besoin de repos, etc., etc.

Cette division des animaux en « optiques » et « non optiques » ne résout cependant pas entièrement le problème du déterminisme de l'activité rythmique chez les animaux.

Certains d'entre eux, les Oiseaux en particulier, sont vraisemblablement sensibles aux variations rythmiques quotidiennes de la pression atmosphérique, du magnétisme terrestre, de l'électricité tellurique et, probablement aussi, à des radiations de nature inconnue. Le fait suivant, qui, d'ailleurs, n'est pas unique dans sa catégorie, motive cette opinion : dans nos régions, la durée de la nuit est très différente suivant les saisons. Il en résulte que les animaux « optiques », comme le sont, par exemple, les Oiseaux, ne dorment pas exactement pendant le même temps chaque jour. Un pli d'habitude ne peut donc être pris chez les jeunes. Or, si l'on soustrait à la lumière un jeune oiseau, on constate qu'il se comporte exactement comme les individus de contrôle restés en pleine lumière. Le Dr Cipriani a fait, à ce propos, de nombreuses observations. « La lumière, dit-il à peu près en substance, n'est nullement la cause de l'activité des Oiseaux. Chez les Oiseaux aveugles, même éloignés

de ceux restés doués de la vue et loin de tout bruit, le rythme sommeil-veille se répète de façon identique au cours de toute leur existence. J'ai pu observer cette étrange constance chez un Pinson aveugle qui vécut dans une maison pendant environ dix ans ; il montra toujours une connaissance exacte de la succession des jours et des nuits, malgré les « trucs » que j'employais pour l'induire en erreur. Un homme, je n'en doute pas, ne tarderait guère à perdre toute notion à ce sujet, s'il était obligé de vivre dans la plus parfaite obscurité dans un milieu où il ne lui serait possible d'entendre aucun bruit du monde extérieur, et s'il était trompé par une lumière artificielle donnée par intervalles, à des heures différentes du jour et de la nuit, obligé, enfin, à veiller plusieurs heures, etc., et ceci, pendant des mois sans interruption. C'est cependant ce que j'ai réalisé avec plusieurs Oiseaux aveugles... »

Après avoir examiné les phases d'activité et de repos qui se succèdent au cours des 24 heures chez les animaux, étudions le sommeil chez l'Homme. Nous ne ferons cette étude qu'au point de vue du rythme et nous n'envisagerons donc pas la psychologie du sommeil, le rêve, les états confusionnels, l'insomnie ni les nombreuses théories du sommeil.

Depuis que le sommeil a été l'objet de travaux systématiques, on s'est aperçu qu'il ne s'agit pas d'un état fixe, mais, au contraire, qu'il était un phénomène oscillant très net ; ce caractère est bien mis en évidence par les graphiques du sommeil ou hypnogrammes (fig. 16) que l'on obtient en déterminant rigoureusement le seuil des excitations nécessaires pour réveiller l'être plongé dans le sommeil. Les excitants mis en jeu peuvent être un bruit, un contact, une lumière, une odeur, etc.

Deux types d'hypnogrammes ont pu être établis, l'un, caractérisé par la chute rapide des fonctions vigiles, aboutissant au bout d'une heure environ à un sommeil très profond, l'autre, mettant en évidence un sommeil moins profond dans les premières heures avec abaissement rapide vers la quatrième heure, puis relèvement vers la cinquième heure.

Le sommeil obéit donc à deux rythmes généraux : l'un, s'affirmant par une inhibition qui atteint rapidement son acmé et se dissipe progressivement dans les heures qui suivent (type vespéral), l'autre, marqué par une inhibition relativement partielle, tardive, et qui s'accuse surtout peu de temps avant le réveil (type matinal).

Le sommeil n'est pas seulement l'obscurcissement plus ou

moins profond de la conscience; il est accompagné d'une série de modifications physiologiques qui introduisent, au cours des 24 heures, un rythme binaire dans les fonctions. Envisageons, successivement, les modifications de l'activité musculaire, de la chronaxie, de la circulation, de la respiration, de la sécrétion, de la thermogénèse, et, enfin, du métabolisme de base.

L'état de tension involontaire des muscles subit des changements importants au cours du sommeil. Chez l'Homme qui s'endort, le tonus d'attitude se dissocie: la tête s'incline en

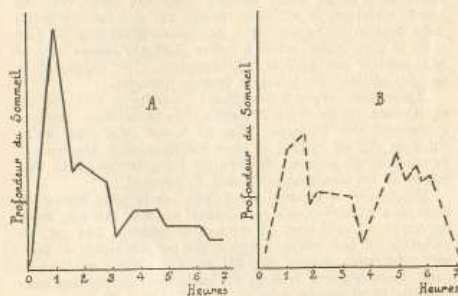


FIG. 16. — Courbes de la profondeur du sommeil.
A) Type vespéral.
B) Type matinal.

avant, les épaules s'affaissent, le tronc s'infléchit et s'incurve, les membres supérieurs pendent le long du corps.

La position de l'Homme endormi varie avec les sujets, sur le dos, sur le côté, sur le ventre, en demi-flexion. Cette dernière attitude semble la plus favorable; elle permet le relâchement du plus grand nombre de muscles; c'est celle qu'adoptent, d'instinct, quelques mammifères, Chien, Chat, etc. Avec Burdach, nous croyons qu'elle est un rappel de l'état fœtal.

Sidís pensait que les droitiers dorment, de préférence, sur le côté droit, les gauchers, sur le côté gauche. Cette opinion n'a pas été confirmée par les recherches subséquentes. Ce serait

le côté droit qui aurait la préférence, même chez certains gauchers, puis viendrait le côté gauche, ensuite la position ventrale et, enfin, la dorsale. Cependant, la première année, cette dernière position serait prédominante.

Si, dans l'ensemble, le tonus musculaire est fortement diminué ou même aboli chez l'Homme endormi, certains muscles conservent cependant leur tonicité normale; quelques-uns, même, présentent une tonicité supérieure à celle qu'ils ont à l'état de veille. Les muscles fléchisseurs des doigts sont souvent contractés, d'où la justesse de l'expression: « dormir à poings fermés »; les masséters le sont, également, très souvent, les orbiculaires, toujours. Les yeux du dormeur sont dirigés en haut et en dehors, ce qui implique la contraction des muscles petits obliques; l'orifice pupillaire est réduit et cette réduction est d'autant plus grande que le sommeil est plus profond. Enfin, l'anneau musculaire buccal, les sphincters de l'anus, de l'intestin sont également contractés.

L'état des réflexes tendineux, cutanés, oculaires, organiques ont été étudiés en ces dernières années.

Les réflexes tendineux sont diminués ou même supprimés si le sommeil est très profond. Ce fait peut sembler paradoxal, car l'on sait que l'intensité des réflexes tendineux est d'autant plus élevée que les centres supérieurs présentent moins d'activité. En réalité, le paradoxe n'est qu'apparent; l'observation et l'expérience ont montré, en effet, que, pendant le sommeil, la moelle épinière est envahie par une vague d'inhibition qui part du cerveau moyen.

Dès le début du sommeil, les réflexes cutanés augmentent passagèrement, puis diminuent progressivement et atteignent, enfin, leur maximum dans le sommeil le plus profond. Notons que certains réflexes cutanés peuvent se présenter inversés dans quelques cas pathologiques; l'exemple le plus typique nous est donné par l'inversion du réflexe cutané-plantaire étudié par Babinski.

Au cours du sommeil, les réflexes organiques sont moins modifiés que les précédents; on sait, cependant, que les réflexes vaso-moteurs des membres sont généralement diminués ou retardés.

En utilisant la méthode de la chronaxie, Marinesco et Sager ont constaté que, dans le sommeil naturel, l'excitabilité des muscles et des nerfs augmente pour certains de ces éléments et s'abaisse pour d'autres, de sorte que, dans l'ensemble, les chronaxies motrices atteignent le même niveau. Il en résulte

que le sommeil entraîne un retentissement profond sur l'expression des maladies qui atteignent la moelle et le cerveau. Ainsi, toutes les manifestations musculaires, tics, chorée, s'effacent au cours du sommeil; inversement, le mouvement peut revenir pendant le sommeil chez les malades atteints d'encéphalite léthargique avec rigidité. Sous l'influence d'un réveil, on voit ces malades se lever, marcher, courir sans présenter la moindre raideur du tronc. Vient-on à les réveiller, la contraction les réveille rapidement.

Voyons, maintenant, les modifications qu'apporte le sommeil dans la circulation, la respiration, la sécrétion et la thermogénèse.

Pendant le sommeil, les battements du cœur diminuent de fréquence; le ralentissement des contractions porte sur la durée de la diastole. La vitesse de l'onde sanguine décroît.

La circulation encéphalique peut être diminuée (Tarchanoff, Blumenthal) ou, au contraire, augmentée (Tzerni, Brodmann).

La pression artérielle diminue, généralement, de 15 à 30 mm. La diminution est plus marquée, semble-t-il, chez la femme que chez l'homme; elle est plus importante chez les hypertendus que chez les sujets normaux ou les hypotendus.

Les modifications que subit la respiration sont faciles à apprécier. Le passage de l'état de veille à celui de sommeil se traduit par une expiration bruyante, profonde. Le sommeil établi, l'inspiration devient plus longue, plus profonde qu'à l'état de veille et l'expiration plus brève. Ces changements de rythme ont, pour conséquence, une diminution de la ventilation; consécutivement, la tension alvéolaire du gaz carbonique augmente et l'acidose sanguine également.

Pendant le sommeil, la sudation est plus importante qu'à l'état de veille; par contre, les sécrétions lacrymale et salivaire sont diminuées.

Chez les sujets jeunes ou bien portants, l'élimination de l'eau urinaire et des constituants de l'urine est réduite. Par contre, chez les sujets âgés, chez beaucoup de néphrétiques, d'hépatiques, de prostatiques, l'activité rénale est décuplée; dans ces différents cas, l'influence clinostatique n'est pas uniquement en jeu, puisque, chez ces sujets, la diurèse est souvent moins forte dans l'insomnie que pendant le sommeil. D'après Hesse, Gillespré, l'hypersécrétion rénale serait liée à une augmentation de l'activité du système vague. Fait curieux, le sommeil dans l'obscurité entraîne un abaissement du taux de

l'urine, tandis que le sommeil en pleine lumière laisse, intacte, l'activité rénale. Enfin, on sait, depuis longtemps, que les reins sont bloqués vers 21 heures.

C'est surtout pendant le jour que les variations du p_H urinaire sont intéressantes à considérer, étant donné que nombre de sujets n'urinent pas la nuit.

Au cours de la journée, la courbe du p_H est marquée par deux ascensions et deux chutes. Au réveil, le p_H oscille autour de 5,8 à 6. Une demi-heure après le réveil, même si le sujet est au repos complet, sa valeur a légèrement diminué; elle continue à s'abaisser lentement jusqu'au repas de midi, surtout si le sujet se livre à un travail physique ou intellectuel.

De 10 à 20 minutes après le début du repas, le p_H s'élève rapidement et atteint généralement 7 et même 7,4, ce qui dénote une franche alcalinité; c'est ce que l'on appelle la vague alcaline prandiale. On admet, généralement, que cette alcalinité passagère est due à l'élaboration de l'acide chlorhydrique du suc gastrique aux dépens du chlore des chlorures sanguins. L'explication est plausible, car la vague alcaline se déplace avec l'heure des repas et fait défaut en cas de jeûne.

De 2 à 6 heures après le repas, la courbe du p_H descend, l'urine redevient acide par suite de l'élimination des phosphates et des acides organiques provenant de l'alimentation. Au repas du soir, même ascension et nouvelle descente.

Si l'on compare les variations du p_H urinaire à celles de la réserve alcaline du sang, on obtient deux courbes sensiblement parallèles jusque vers minuit, mais, à partir de ce moment, elles se séparent; celle du p_H descend, tandis que celle de la réserve alcaline se maintient à des chiffres élevés jusqu'au matin.

Bien entendu, le p_H est influencé par la nature des aliments ingérés.

Chez le sujet sain, avec un métabolisme correct et une dépuratation urinaire normale, l'alimentation ne modifie le p_H que pendant les heures qui suivent le repas. Au contraire, dans les cas pathologiques, le retour du p_H à la normale est ralenti, soit comme dans le diabète, par une surcharge de l'organisme en acides organiques, soit comme dans les néphrites, par rétention de corps acides résultant de la perte, par le rein, de cette fonction essentielle qui est d'éliminer les acides et de retenir les bases.

La température du corps s'abaisse pendant le sommeil.

Ainsi, la courbe thermique d'une personne normale donne (fig. 17) :

0 h (minuit) ..	37 deg	14 h, 16 h	37 deg 4
2 h	36 deg 9	17 h, 18 h, 19 h ..	37 deg 5
4 h, 6 h, 6 h 1/2 ..	36 deg 7	20 h, 21 h	37 deg 4
8 h	36 deg 8	22 h	37 deg 3
10 h	37 deg	23 h	37 deg 2
12 h	37 deg 3	24 h	37 deg

L'examen de cette courbe montre immédiatement qu'elle atteint son point culminant vers 18 heures et s'abaisse, au maximum, vers 5 heures. L'écart entre la température mini-

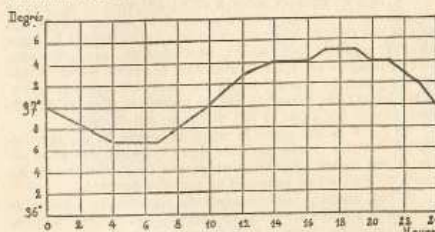


FIG. 17. — Courbe thermique d'une personne normale, en 24 heures.

mum (36° 7) et la température maximum (37° 5) est d'environ 1 degré.

On a cru, pendant longtemps, que le rythme de la température était inversé chez les ouvriers travaillant régulièrement la nuit (boulangers, mineurs) et on en avait conclu que le rythme quotidien thermique dépendait essentiellement des activités musculaire et nerveuse. En fait, comme le montrent les observations d'Ugoli Mosso, il est très difficile, par une inversion de l'activité nyctémérale de déterminer, chez l'Homme, une inversion parallèle de la courbe thermique.

Le rythme intérieur aurait pu être acquis par l'Homme au cours de son histoire originelle. Les alternances de travail et de repos, de veille et de sommeil, d'alimentation et d'absten-

tion de nourriture avec modifications corrélatives d'états de tension musculaire et nerveuse auraient eu un effet déterminant sur la thermogénèse. Le rythme acquis parcourrait, aujourd'hui, le cycle ancestral d'une manière assez indépendante des conditions extérieures qui ne feraient qu'ajouter leur action.

Contre cette hypothèse se présente l'objection capitale posée dans le fait que le rythme de la température est lié au temps local; en changeant de lieu (par exemple, en voyage), le rythme s'établit selon le temps du nouveau lieu.

Reste l'hypothèse du facteur cosmique. Depuis les récentes expériences du professeur de Ridder, c'est la seule acceptable. Le professeur de Ridder a expérimenté sur des bébés allaités. Chez les jeunes bébés, l'allaitement et les autres soins peuvent être distribués uniformément sur la durée de 24 heures; de plus, la vie sociale est absente et les intervalles entre les processus sont remplis par le sommeil physiologique. Or, dans ces conditions, un rythme très net de température se manifeste toujours. C'est celui observé chez l'Homme travaillant le jour et se reposant la nuit.

Le rythme de la température chez l'Homme est donc vraisemblablement lié à l'état géologique de la Terre, affecté par le rythme diurne de la radiation solaire. Peut-être, serait-il intéressant d'étudier parallèlement les variations thermiques du corps humain et celles journalières du magnétisme et de l'électricité telluriques. Ce genre de recherches fournirait, probablement, la clef du rythme thermique quotidien.

A cette question de la température du corps humain se rattachent étroitement celles de la thermogénèse et du métabolisme de base pendant le sommeil.

Le métabolisme basal est diminué pendant le sommeil, ce qui justifie l'expression « qui dort dine ». Ainsi, chez un garçon de 15 ans, la consommation peut osciller autour de 50 millithermies par heure pendant le sommeil. A l'état de veille et d'activité, elle peut monter jusqu'à 200 millithermies, soit 4 fois plus. Delcourt, Bernard et A. Mayer ont trouvé que le métabolisme basal est plus faible lorsque l'individu se place dans la position qui lui est habituelle pour dormir. Il semblerait donc que le dormeur adopte instinctivement la position qui lui est organiquement la plus favorable.

Nous terminerons, enfin, cette étude des concomitants physiologiques du sommeil en signalant que la résistance électri-

que de la peau augmente pendant l'endormissement, se poursuit au cours du sommeil, et, finalement, diminue au moment du réveil.

21. Rythmes quotidiens chez les Végétaux Mouvements de veille et de sommeil

Les végétaux sont, comme les animaux, soumis au rythme binaire journalier. Il se traduit, chez eux, par des variations corrélatives de l'absorption, de la respiration, de la fonction chlorophyllienne, de la croissance, et, enfin, par des mouvements dits de veille et de sommeil. Examinons seulement, ici, le rythme de la croissance et les mouvements de veille et de sommeil, le rythme des fonctions précédemment énumérées étant classique et bien connu.

La croissance des plantes est un phénomène nettement rythmique; elle présente une périodicité journalière et une périodicité saisonnière. Celle-ci a son maximum pendant les mois chauds et humides et son minimum pendant la période sèche et froide. D'autre part, d'après Klepenheuer, la croissance des arbres, mise en évidence par l'inégale épaisseur des anneaux de bois, présenterait une périodicité undécennale, liée au rythme des taches solaires.

La périodicité journalière se traduit par un maximum de croissance peu après le lever du Soleil et par un minimum vers la fin de la journée. Ce rythme disparaît généralement lorsque les plantes sont placées à l'obscurité et soumises à une température constante.

La croissance est due à deux processus qui se superposent : l'allongement cellulaire et la multiplication cellulaire; lorsque l'allongement cellulaire est maximum, la prolifération est minimum et inversement.

Il est connu, depuis longtemps, que la croissance est influencée par les conditions du milieu, chaleur, lumière, humidité, éléments chimiques et qu'elle est soumise à l'effet de la sève, mais ce n'est que depuis peu que l'on sait qu'elle est déterminée par des hormones de croissance ou auxines.

Ces hormones sont élaborées par la région terminale de la tige ou de la racine. Elles circulent à sens unique, indépendamment de la pesanteur, et se dirigent à la vitesse moyenne de 10 mm à l'heure, vers la région de croissance où elles provoquent une augmentation de la plasticité et de l'extensibilité de la membrane des cellules. Dans ces conditions, la pression de

turgescence cellulaire agit sur les parois celluloliques devenues extensibles et produit un accroissement de volume des cellules, d'où allongement dans le sens de la moindre résistance, c'est-à-dire dans celui de la longueur de l'organe.

Ajoutons, pour terminer, que les auxines sont des substances chimiques bien définies. On connaît l'auxine a qui compte trois fonctions alcool et une fonction acide, l'auxine b qui possède une fonction alcool, une fonction cétone et une fonction acide. Enfin, on a isolé une hétéro-auxine, dérivée d'un acide aminé banal, le tryptophane; son rôle semble être de stimuler l'action des auxines vraies.

Voyons, maintenant, le rythme veille-sommeil chez les plantes.

Les mouvements de veille et de sommeil sont particulièrement remarquables chez diverses plantes de la famille des Légumineuses, telles que le Trèfle, la Luzerne, l'Acacia, le Haricot et surtout la *Sensitive*.

Le Trèfle et la Luzerne inclinent leurs folioles en amenant leurs faces supérieures en contact les unes avec les autres; chez le Haricot, l'Oxalis, le Lupin, etc., les folioles s'abaissent et mettent en regard leurs faces inférieures. Chez les *Sensitives* (*Mimosa pudica*), les mouvements nyctitropes sont complexes. Cette plante possède des feuilles composées à folioles pennées placées le long de quatre pétioles secondaires portés, eux-mêmes, par un pétiole principal. Le soir, les folioles se rabattent vers le haut en s'accrochant deux par deux par leurs faces supérieures et se couchent sur leur pétiole secondaire. De plus, les quatre pétioles secondaires se rapprochent les uns des autres et se mettent, à peu près, dans le prolongement du pétiole principal. Pendant ce temps, celui-ci s'abaisse et s'incline le long de la tige, entraînant, ainsi, le reste de la feuille; vers 8 heures du soir, le mouvement de descente est terminé. Le temps de repos complet est court, car, à partir de 10 heures du soir, le pétiole principal commence à se relever et, avant le lever du Soleil, il a dépassé l'horizontale, les pétioles secondaires divergent, les folioles s'écartent et la feuille entière reprend sa position de veille qu'elle gardera pendant toute la journée.

Fait curieux, si l'on supprime artificiellement les périodes alternatives d'éclairage et d'obscurité du jour et de la nuit, en soumettant les *Sensitives* à une lumière continue, les phases d'activité et de repos, de veille et de sommeil persistent pendant quelque temps. Ce phénomène de rémanence ou d'induc-

tion constitue une sorte de mémoire organique ou d'habitude automatique; nous avons déjà rencontré un fait semblable à propos des *Convolvata*. Raphaël Dubois dit qu'il a observé un phénomène analogue chez les *Pyrophores* lumineux. Maintenus dans un cabinet noir, ces Insectes n'en allument pas moins leurs brillantes lanternes, tous les soirs, à la même heure.

Des mouvements de sommeil s'observent, également, chez beaucoup de fleurs. La corolle de la Tulipe, du Nénuphar, du Liseron, de la Pomme de terre, s'étalent le jour et se ferment la nuit. La fleur composée du Pissenlit se comporte de même. Par contre, la Belle-de-nuit ouvre ses fleurs pendant la nuit.

Ces mouvements, dits de sommeil, sont-ils la marque d'un engourdissement de la plante? Pour le physiologiste hindou, Sir Jagadis Chunder Bose, il n'en est rien. La plante dort, dit-il, lorsqu'elle a perdu sa sensibilité.

« Quand nous voulons savoir, écrit Bose, si notre compagnon dort, nous le secouons en demandant : « Êtes-vous éveillé? » S'il l'est, il répond : « Oui ». S'il dort à demi, il fait une réponse indistincte. Mais s'il dort tout à fait, il ne répond rien. C'est seulement quand il est complètement éveillé que sa réponse est normale et vigoureuse.

« C'est un processus semblable, continue le savant hindou, que nous emploierons avec la plante. Prenant un *Mimosa* sensible, nous lui demanderons à chaque heure : « Êtes-vous réveillé? » et la variation d'intensité de ses réactions aux différents moments indiquera s'il dort et avec quelle force. »

Une feuille de *Mimosa* est attachée par un fil à l'un des bras d'un levier d'aluminium. Un stylet est fixé à angle droit sur le levier; il laisse une trace sur une plaque de verre enfilée tombant à une vitesse définie. Un stimulus déterminé, en l'occurrence une secousse électrique, cause un abaissement de la feuille et l'amplitude de cette réaction mesure l'excitabilité de la plante à un moment donné. Un second stimulus est appliqué après un certain intervalle de temps, soit une heure par exemple, et la réaction correspondante montre si, pendant ce temps, l'excitabilité de la plante a varié, et de quelle valeur.

En appliquant cette technique, Bose a constaté que les plantes sont rendues insensibles par l'obscurité prolongée et surtout par un abaissement de température.

Au milieu du jour, la plante a son maximum de sensibilité; ses réactions au stimulus électrique sont uniformes et vigoureuses; c'est le moment du plein travail physiologique. Le soir

et le matin, la sensibilité de la plante est, par contre, très atténuée.

Nous avons sous les yeux l'enregistrement graphique de la sensibilité d'un *Mimosa* au cours des 24 heures. Traduisons-le brièvement : le tracé a commencé à 17 heures. Pendant les deux premières heures, la plante est restée pleinement éveillée. Elle a somnolé, ensuite, vers 21 heures et 2 heures, s'est éveillée vers 6 heures, puis s'est profondément endormie pour rester, ainsi, jusqu'à 8 heures. Après quoi, elle s'est réveillée lentement, d'une manière presque humaine (le graphique présente une série d'oscillations) pour acquiescer, enfin, sa sensibilité maximum qu'elle a conservée pendant le reste de la journée.

Comme on le voit, le *Mimosa*, par sa manière de dormir, appartient au « type matinal ». A ce propos, Bose remarque avec humour « qu'il faut croire que le *Mimosa* a pris pour modèle la vie dissipée des modernes Babyloniens que sont Londres, Paris ou New-York, qui restent éveillées tard chaque nuit et ne vont se coucher qu'après le lever du Soleil! »

Comme ceux de veille et de sommeil que nous venons d'étudier, certains mouvements des plantes sont également en relation avec celui de rotation de la Terre. Ainsi, le capitule du *Tournesol-héliante* suit le Soleil dans sa course. La fleur de l'*Héliotrope* fait de même.

Le comportement de la *Linaire* est plus complexe. Les pédoncules floraux de cette plante s'orientent vers la lumière pendant la période qui précède la fécondation des fleurs, mais prennent une direction opposée quand les fleurs ont été fécondées. On voit alors les pédoncules floraux se tordre et se diriger vers les anfractuosités obscures des murailles pour y déposer leurs graines. Dans les traités de botanique, on étiquète cet étonnant phénomène en disant : avant la fécondation, les pédoncules étaient positivement héliotropiques, et, après, ils sont devenus négativement héliotropiques. En réalité, tout se passe comme si la *Linaire* faisait preuve de prévoyance maternelle; pour rester dans l'orthodoxie scientifique, nous dirons qu'il y a là une merveilleuse adaptation à la conservation de l'espèce.

22. Rythmes saisonniers

Abordons, maintenant, l'étude des rythmes saisonniers. La plupart sont manifestes; ainsi, il nous semble inutile d'insister sur les faits bien connus du réveil et de l'arrêt de la

végétation, de la pousse et de la chute des feuilles, des périodes saisonnières d'activité et de repos chez les animaux. Par contre, nous envisagerons les points suivants : le sommeil hivernal, le renouvellement des fourrures, l'activité sexuelle saisonnière, la question de la fréquence de certaines maladies avec les saisons et, enfin, les migrations animales que nous verrons dans un chapitre spécial.

Un grand nombre d'animaux sont envahis, à la fin de l'automne, par un engourdissement plus ou moins profond. Cet état se poursuit pendant tout l'hiver et ne cesse qu'au printemps. C'est le cas, par exemple, pour le Lombric, la plupart des Insectes parfaits ou larvaires, pour un grand nombre de Mollusques, l'Escargot en particulier, et, parmi les Vertébrés inférieurs, pour beaucoup de Poissons, pour les Batraciens et les Reptiles.

Chez ces êtres, le froid est la cause de l'engourdissement, puisque, par simple abaissement de température, on peut faire apparaître l'état de torpeur à n'importe quel moment de l'année.

Le Loir, la Marmotte, le Hérisson s'endorment, aussi, au seuil de l'hiver, mais le froid n'est pas responsable de leur engourdissement. Ainsi, la Marmotte ou le Loir s'endorment facilement au début de l'hiver dans des locaux chauffés. Inversement, le Loir ne s'endort pas s'il est soumis pendant l'été à un refroidissement même prolongé. En fait, ces animaux tombent en léthargie lorsqu'ils sont suffisamment gras ; c'est ce qui se produit normalement à la fin de l'automne. De plus, les Loirs maigres et affamés, engraisés au début de l'été, s'engourdissent pendant la saison chaude.

Avant d'entrer en sommeil, les animaux jeûnent pendant un temps prolongé afin que leur tube digestif soit complètement vide et, durant des mois, ils n'absorbent plus aucune nourriture.

Chez un certain nombre d'hibernants, toutes les ouvertures sont closes. L'Escargot ferme sa coquille au moyen d'une membrane puis d'une couche de carbonate de calcium imperméable à l'air. Le Hérisson bouche l'orifice de son goster afin que ses poumons ne communiquent que très faiblement avec l'air extérieur.

La circulation sanguine est très réduite ; le sang se retire des muscles et se répartit entre les grands troncs artériels, le cœur, les poumons et les veines intestinales. Le rythme cardiaque est considérablement diminué. Chez la Marmotte, il

tombe de 100 à 10 à la minute, chez l'Escargot, de 26 à 5. Parallèlement, le rythme respiratoire est faible. La température du corps s'abaisse et peut même descendre au-dessous de zéro. Au réveil, l'animal est secoué de frissons et sa température remonte par brusques sursauts.

L'Homme peut, aussi, participer, dans quelques cas, au grand repos hivernal. Au temps des Tzars, dans certaines régions isolées de la Russie, lorsque, par suite d'insuffisance des récoltes, la disette était à craindre pendant l'hiver, le chef de famille mettait la maisonnée « en couchée ». Tous les membres de la famille se mettaient au lit et la demeure était plongée dans l'obscurité et le silence. Pendant cette phase de léthargie, qui pouvait durer 4 ou 5 mois, le sommeil ne s'interrompait que pour les motifs impérieux.

D'après Piéron, ce sommeil saisonnier n'est pas exclusif à ces paysans de la Russie d'autrefois. Les nègres australiens du Queensland, les Fuégiens, passent leur temps à dormir pour tromper la faim.

Enfin, dans nos régions, il est à remarquer que les paysans réduisent considérablement leur activité pendant l'hiver et dorment beaucoup plus longtemps que pendant la belle saison.

Nous en aurons terminé avec le sommeil saisonnier en notant les principales hypothèses qui ont été émises pour expliquer l'apparition et le maintien du sommeil hivernal chez les Mammifères tels que la Marmotte, le Loir, etc.

Raphaël Dubois considérait que la léthargie hivernale était liée à une intoxication par le gaz carbonique. En fait, l'accumulation du gaz carbonique dans le sang semble plutôt un effet qu'une cause.

D'autres physiologistes, Valentin, Carlier, etc., se sont efforcés de montrer que le sommeil saisonnier était dû au fonctionnement d'une glande endocrine logée à côté du thymus. Cette glande augmente de volume en été et en automne ; lorsqu'elle atteint son maximum, l'animal s'endort.

Enfin, d'après Claparède, le sommeil hivernal serait une sorte d'instinct acquis graduellement par certains Mammifères habitués à passer l'hiver dans une cachette où leurs provisions ont été amassées.

Voyons, à présent, la question du renouvellement des fourrures et celle de l'activité sexuelle saisonnière.

Le remplacement du pelage chez les animaux peut être sporadique, mais, le plus souvent, il y a corrélation entre la chute des poils et le cycle des saisons. Certains animaux ont un

pelage d'été et un pelage d'hiver, ce dernier étant plus fourni en duvet. Deux chutes de poils et deux remplacements peuvent se produire au cours de l'année. Ailleurs, il n'y a qu'une seule chute annuelle au printemps; le pelage d'hiver se constitue alors par adjonction de duvet au pelage existant et par allongement des poils.

Le remplacement du pelage est souvent accompagné d'un changement de coloration des poils. Ce dernier point va nous arrêter quelques instants. Donnons d'abord des exemples de tels changements de couleurs.

La Belette, d'un brun rougeâtre en été, devient blanche jaunâtre en hiver, avec le bout de la queue noire.

L'Hermine, dont le dessus de la fourrure est marron clair, devient presque blanche en hiver.

Le Lièvre des Alpes (*Lepus variabilis*) ne change pas de couleur en Islande (pays assez tempéré). Dans les Alpes, au contraire, ses poils blanchissent en commençant par la pointe. Au printemps, les poils blancs sont remplacés par des poils colorés.

Le Renard bleu des régions arctiques passe du gris bleu en été au blanc en hiver. En Islande, les changements sont exceptionnels; l'animal reste généralement bleu.

Chez les Oiseaux, le plumage peut également subir l'effet des saisons. Ainsi, les Lagopèdes ou Perdrix des neiges sont fauves en été et blanches en hiver.

Différentes théories ont été proposées pour expliquer ces changements de coloration. D'après les plus récentes, les variations de température ne seraient que le point de départ d'un cycle compliqué. La température agirait d'abord sur les glandes génitales, celles-ci sur les capsules surrénales, les hormones de ces dernières sur le système nerveux, et, enfin, le système nerveux sur le pigment des poils.

Pour certains auteurs, il y aurait phagocytose des pigments par les phagocytes migrateurs. Par contre, d'après Borrel, qui a fait à ce sujet des observations encore inédites, le mécanisme de dépigmentation serait différent. Le pigment ne serait pas distribué dans les cellules faisant partie intégrante du poil, mais appartenirait à des chromatophores ou de la plume, mais appartenirait à des chromatophores dont le corps cellulaire resterait en profondeur dans la peau et dont les pseudopodes iraient envelopper les cellules du poil dont les pseudopodes iraient envelopper les cellules du poil comme d'un feutrage. C'est sur les mailles de ce feutrage que serait fixé le pigment. Le processus de dépigmentation consis-

terait, alors, en une simple rétraction des pseudopodes dans leur centre cellulaire où le pigment serait entraîné.

Remarquons que ce mécanisme expliquerait fort bien le blanchiment rapide dû à une émotion soudaine.

Nous arrivons, maintenant, à la question du rythme sexuel saisonnier; nous l'examinerons assez rapidement.

L'influence des saisons sur l'activité sexuelle animale est bien connue. Chez les animaux vivant à l'état sauvage et que la domesticité n'a pas modifiés dans l'exercice de leurs fonctions, les accouplements ne se font qu'au moment de l'état de rut des femelles, lequel est généralement lié étroitement au cycle saisonnier.

Ce rythme est corrélatif des modifications qui affectent la composition du sang, le fonctionnement des endocrines, celui du système nerveux, etc.

On a même constaté, très récemment, que, chez les Oiseaux, le poids du cerveau variait avec le rythme sexuel.

Chez la Mésange bleue, par exemple, l'encéphale pèse 57 à 60 cg de janvier à juin, puis 65 cg en juillet et 75 ou plus, d'août à octobre. D'autres Mésanges, le Pinson, le Chardonnet, le Rouge-gorge, la Grive musicienne montrent une même variation saisonnière de l'ordre de 20 % du poids encéphalique. Le minimum printanier coïncide avec les amours et la ponte, le maximum avec la période d'inactivité reproductrice, et, en même temps, le maximum de poids de la thyroïde, ce qui, par parenthèse, révèle des relations nerveuses et endocriniennes.

Chez l'Homme, le cycle sexuel normal est moins net que chez les animaux; néanmoins, il semble dépendre, en partie, du cycle saisonnier.

Ainsi, Quételet a montré qu'il y a, en Belgique et en Hollande, un maximum de naissances en février et, par suite, de conceptions en mai, avec un minimum de naissances en juillet. Il y aurait, de plus, une relation entre les influences saisonnières et la vitalité des enfants; c'est, du moins, ce que prétend le Dr Biot qui, à ce propos, cite les travaux de Havelock Ellis.

« On constate, dit H. Ellis, que, sur 3.000 cas d'enfants observés dans leur 1^{re} année, ce sont les enfants nés en février et en septembre et, par suite, conçus en mai et en décembre, qui présentent la plus grande vitalité, et que ceux qui sont nés en juin et qui, par suite, ont été conçus en septembre ont la moindre vitalité. Comme, d'autre part, mai et décembre sont précisément les périodes où les conceptions atteignent,

en Europe, leur maximum, et septembre leur minimum, les enfants les plus forts sont ceux qui ont été conçus au moment de la plus grande tendance à la procréation et les plus faibles ceux qui l'ont été, alors que cette tendance est la plus faible.»

« Il serait intéressant, ajoute le Dr Biot, pour un eugénisme de bon aloi, de ne pas ignorer ces lois biologiques. Elles sont, d'ailleurs corroborées par les études précises des physiologistes sur les variations de la croissance suivant les saisons et aussi sur les dépenses de l'organisme. »

Abordons, enfin, le dernier point de ce paragraphe, celui des maladies saisonnières.

La notion de maladie saisonnière est relativement banale, mais, jusqu'aux travaux de Woringer, elle n'était ni claire ni précise.

Woringer a montré que certaines maladies contagieuses non intestinales présentaient un maximum et un minimum de fréquence annuels; leur courbe représentative affecte une allure sinusoïdale.

Pour une maladie déterminée, la courbe est à peu près identique dans les deux hémisphères; à mesure que l'on se rapproche de l'équateur, elle tend vers la droite: les différences saisonnières s'atténuent.

Les maladies saisonnières se classent en deux catégories. Dans un premier groupe, se rangent les maladies du type hivernal dont le maximum de fréquence a lieu en décembre et janvier. Ce sont la diphtérie, l'angine, les amygdalites, la grippe, le rhumatisme articulaire aigu, la scarlatine, les rhumes. Le second groupe est constitué par les maladies dites hiberno-vernales, la varicelle, la variole, les oreillons, la méningite cérébro-spinale, la coqueluche, la rougeole avec bronchite ou broncho-pneumonie. Leur maximum de fréquence est en mars.

Pour ces dernières, le rapport du maximum au minimum est très élevé; il va de 10 pour les oreillons, la rougeole, la méningite cérébro-spinale à 3,5 pour la broncho-pneumonie. Pour les maladies du premier groupe, ce rapport est plus faible; ainsi, il est de 2, seulement, pour la diphtérie.

Deux facteurs essentiels interviennent dans l'apparition et le développement de ces différentes maladies, le germe et le terrain. Nous n'étudierons pas ici le rôle respectif de ces éléments; le problème est encore trop embrouillé pour être exposé avec quelque clarté. Notons, seulement, les intéressantes sug-

gestions de Kühman sur l'affaiblissement du terrain par avitaminose.

D'après cet auteur, la plupart des maladies infectieuses du type hiberno-vernal seraient dues à des carences vitaminiques. Au printemps, se produit une accélération des échanges, d'où un besoin plus élevé en vitamines B. A cette époque, également, le métabolisme basal se trouve augmenté par suite de l'intensification de la sécrétion thyroïdienne; on constate, en effet, que le sang s'enrichit en iode. Cette crise humorale thyroïdienne nécessite un apport supplémentaire de vitamines A et B; elle favorise donc, encore, la carence relative de ces substances. Enfin, dans la période pré-printanière, l'alimentation est généralement pauvre en vitamines A et C. Toutes ces causes font qu'il y a augmentation des besoins en vitamines avant l'augmentation des apports, d'où avitaminose, et, consécutivement, diminution de résistance aux infections.

23. Migrations animales

Les migrations animales sont parfois nettement périodiques. C'est le cas de beaucoup de migrations aviaires, dont l'exemple le plus populaire est fourni par l'Hirondelle.

Certaines migrations, à caractère cyclique, sont liées au rythme saisonnier, d'autres, au cycle sexuel; enfin, il en est dont le déterminisme reste encore obscur. Quoi qu'il en soit, afin de ne pas détruire l'unité du sujet, voyons les unes et les autres à propos des rythmes saisonniers.

Étudions, successivement, quelques migrations typiques, chez les Mammifères, les Oiseaux, les Poissons et les Insectes. Nous négligerons les autres groupes où les migrations sont accidentelles ou de faible importance.

Les Mammifères qui accomplissent de véritables migrations, c'est-à-dire des voyages périodiques avec retour plus ou moins régulier, sont assez rares. On peut, néanmoins, citer, dans cette catégorie, certains grands Ruminants, les Chauves-Souris et des Mammifères marins.

Par contre, les migrations consistant en une expansion dans le temps et dans l'espace sans qu'il y ait nécessairement retour au point de départ, sont extrêmement nombreuses, et on peut dire, avec le Dr Laurent, que tous les Mammifères sont capables d'accomplir de telles migrations. La rythmicité du phénomène, lorsqu'elle existe, résulte du fait que les déplacements ne se font pas d'une façon continue, mais suivant des alternances d'expansions coupées par des arrêts ou des retraits.

Ce double aspect des migrations se retrouvant dans les autres groupes animaux, nous le signalons ici, une fois pour toutes.

Illustrons les migrations des Mammifères par celles des Bisons, des Antilopes sauteuses, des Chauves-Souris et des Lemmings.

Les migrations des Bisons américains (espèce maintenant disparue) étaient saisonnières et du type aviaire, c'est-à-dire avec retour au point de départ.

Ces animaux se déplaçaient en une horde immense, formée de troupeaux comprenant, en moyenne, dix mille têtes, de sorte que la horde pouvait renfermer quatre à huit millions d'individus.

Les vaches et les veaux occupaient le centre, cependant que les taureaux marchaient sur les flancs. Les vieux individus, les malades, les accidentés suivaient la masse principale. Loups, Coyottes et autres carnassiers accompagnaient les Bisons et s'attaquaient aux traîneurs.

Rien n'arrêtait la marche des Ruminants : lacs où ils s'enlisaient par milliers, fleuves où ils se noyaient, précipices où les animaux de tête étaient poussés par les suivants, etc. Cependant, en règle générale, les itinéraires étaient si bien établis selon la conformation du terrain que les premiers topographes américains, chargés de tracer le parcours de certaines lignes de chemin de fer, adoptèrent l'ancienne piste des Bisons sur une distance considérable, sans pouvoir l'améliorer.

Les migrations périodiques de ces Ruminants étaient, généralement, provoquées par la recherche de riches herbages et d'une température clémente; cependant, cette explication n'est pas toujours valable, tout au moins dans le détail du comportement des animaux, car des pâturages étaient abandonnés alors que les réserves alimentaires n'étaient pas épuisées, et, d'autre part, beaucoup de troupeaux hibernaient dans la neige, y périssaient, sans chercher ailleurs un climat plus doux.

Les migrations de l'Antilope sauteuse ou Springbok d'Afrique du Sud, dont la dernière eut lieu en 1896, étaient, comme celles du Bison, caractérisées par l'agglomération d'une masse compacte migratrice de plusieurs milliers d'individus, mais, alors que les déplacements du Bison étaient saisonniers, ceux du Springbok se faisaient suivant un autre rythme et se produisaient spécialement pendant les années sèches.

Les Springboks en marche formaient un flot irrésistible qui entraînait avec lui tout ce qu'il rencontrait : troupeaux de

Moutons avec leurs bergers, lesquels finissaient par être piétinés à mort, Antilopes d'espèces différentes, et même, Lions qui, enfouis dans cette masse vivante, ne parvenaient pas à s'en dégager. Bien entendu, Lions, Léopards, Chacals venaient derrière la horde pour attaquer les malades, les infirmes. Enfin, les Vautours survolaient toute la bande et s'abattaient sur les reliefs laissés par les carnassiers.

Notons que les bandes de Springboks n'étaient pas seulement formées d'individus affamés. Quand elles passaient dans des régions fertiles, elles entraînait avec elles, par imitation, les Antilopes repues de l'endroit.

Les Springboks sont maintenant des animaux assez rares; l'espèce est, à peu près, éteinte.

Quelques autres herbivores présentent des migrations saisonnières analogues aux précédentes. Pour éviter des redites, citons, sans les décrire, les migrations du Caribou américain, du Cerf-Mulet, des Oryx, des Addax. Enfin, parmi les gros Mammifères, les Cétacés sont, eux aussi, des migrants saisonniers.

La Chauve-Souris, Mammifère volant, est également un animal migrateur, mais ses migrations ne sont connues que depuis peu. Buffon n'y faisait pas allusion et ce n'est que vers 1890 qu'elles furent soupçonnées. Grâce à la méthode du baguage, largement employée avec les Oiseaux, on a pu, enfin, à une époque récente, faire la preuve expérimentale des migrations saisonnières des Chauves-Souris.

M. Casteret, l'un des investigateurs français qui contribua le plus à éclairer le problème, a étudié les Chéiroptères qui hantent la grotte des Tignahustas, dans les Hautes-Pyrénées. Cette grotte est principalement habitée, en été, par de grandes Chauves-Souris, des Murins et des Minioptères, et le reste du temps, par des petites Chauves-Souris, les Rhinolophes et les Vespertillons. Les grandes Chauves-Souris délogent les petites lorsqu'elles prennent possession de la grotte.

Ces grandes Chauves-Souris arrivent fin mars, en même temps que les premières Hirondelles, chassent pendant tout l'été et quittent la grotte vers la fin d'août. Pendant leur séjour, elles se reproduisent et les jeunes partent avec leurs mères.

On ne sait pas encore exactement où les Chauves-Souris d'Europe vont hiberner. On les a vues mêlées aux troupes d'Hirondelles, ce qui a fait supposer qu'elles passaient l'hiver en Afrique, mais cela est peu probable.

Les vols paraissent être toujours composés d'individus du même sexe, et, d'autre part, les colonies de la plupart des espèces européennes semblent ne comprendre que des femelles; quelques rares mâles s'y trouvent isolés.

Deux traits concernant la biologie des Chauves-Souris méritent d'être notés; nous les empruntons à Casteret.

«S'il pleut ou si le vent souffle violemment, écrit cet auteur, les Chauves-Souris ne sortent pas, non pas que cela les empêche de voler, mais uniquement parce que, par les nuits de pluie et de tempête, les Insectes dont elles font leur nourriture ne volent pas. Ce qui est remarquable, c'est que les Murins n'ont pas besoin de sortir de leur caverne pour savoir le temps qu'il fait au dehors. Un instinct mystérieux les en informe et nous avons même constaté que, par mauvais temps, ils ne se réveillent même pas à la tombée de la nuit, comme de règle lorsqu'il fait beau.»

Le second trait est le suivant :

On sait, depuis longtemps, que les Chauves-Souris peuvent voler dans l'obscurité absolue, au milieu des obstacles les plus variés, mais, jusqu'à une date récente, on ignorait le mécanisme qui leur permet d'évoluer dans ces conditions.

Deux savants américains, MM. Galambos et Griffin, viennent de donner la clef de l'énigme.

La Chauve-Souris émet des ultra-sons (inaudibles à l'Homme et à la plupart des animaux), à l'aide de ses cordes vocales. Le retour de ces ultra-sons, c'est-à-dire l'écho, renseigne l'animal sur les obstacles qu'il pourrait heurter et qu'il évite ainsi avec une extraordinaire habileté. Comme on le voit, la Chauve-Souris utilise le principe du radar.

Ainsi que nous l'avons signalé, beaucoup de Mammifères présentent des migrations sans retour. On peut, dans ce cas, parler d'exodes. L'exemple le plus typique de ces sortes de migrations est donné par les Lemmings de Norvège (1).

Le Lemming est une sorte de Campagnol, long de 16 à 18 cm, à corps ramassé et à queue très courte.

Ses grandes migrations, qui ont lieu actuellement tous les 4 ans, sont dues à une multiplication périodique extraordinaire. Les périodes de reproduction anormale semblent être, écrit, à peu près en substance, le Dr Laurent, sous la dépendance de « causes planétaires, voire cosmiques, en relation avec de grands phénomènes cycliques que sont les éruptions

(1) Les Lemmings vivent également au Groenland et au Canada.

volcaniques, les variations de la température moyenne du globe terrestre, les taches solaires.»

Après une période d'existence normale, les Lemmings deviennent beaucoup plus féconds, si bien qu'à la fin de l'été, le nombre des individus est dix ou vingt fois plus grand qu'à l'ordinaire. On voit alors les Rongeurs se réunir en grand nombre, se mettre en marche en colonnes serrées et s'avancer, droit devant eux, sans qu'aucun obstacle les fasse dévier de leur chemin. Rivières, fleuves et lacs ne les arrêtent pas; ils s'y jettent pour les traverser, mais parviennent sur la rive opposée au prix d'un nombre prodigieux de noyades. S'ils rencontrent un îlot, ils passent dessus sans chercher à le contourner; s'il s'agit d'une barque, ils y grimpent, s'y entassent, plongent de l'autre bord et finissent par la faire chavirer. Rencontrent-ils une barrière sur la terre ferme, ils creusent un tunnel par-dessous. Si un fossé profond, à bords abrupts, coupe leur marche, ils s'y précipitent; leurs cadavres s'y entassent et les Rongeurs qui suivent passent sur le pont formé. Deux colonnes venant de directions opposées viennent-elles à se rencontrer, une lutte s'engage entre les deux bandes.

Les Lemmings aboutissent généralement à la mer, mais extrêmement réduits en nombre, car ils subissent des destructions massives au cours de leurs pérégrinations.

Les époques à Lemmings sont, aussi, en effet, les périodes où les ennemis de ces Rongeurs sont les plus abondants : Hermines, Renards polaires, Belettes, Oiseaux de proie, etc., ce qui, par parenthèse, démontre l'existence d'un facteur extrinsèque agissant sur la reproduction de tous ces animaux.

Tous ces carnivores suivent les Lemmings dans leurs déplacements et s'en nourrissent abondamment. Fait curieux et peu explicable, les Rapaces atteignent, bien avant les Lemmings, les territoires où les Rongeurs doivent passer. Ils les y attendent pour les détruire. Une sorte de prescience semble déterminer leur comportement.

Arrivés au voisinage de la mer, les Lemmings qui ont échappé au massacre sont finalement dévorés par les Goélands, les Pétrels, les Stercoraires. Le voyage de retour se trouve, ipso facto, supprimé.

Des migrations sans retour sont aussi le fait des différentes espèces de Rats, de l'Ecureuil, du Lapin, du Tatou, etc.

Signalons que le Rat d'égout ou Surmulot était à peu près inconnu en France avant 1753. Vers 1727, des légions de Rats, venant d'Extrême-Orient, se mirent en marche vers l'Europe,

traversèrent les déserts de la Caspienne, franchirent la Volga où ils périrent par millions, envahirent l'Ukraine, puis arrivèrent en Allemagne vers 1750. Quelque dix ans après, ils étaient à Paris.

Après les migrations des Mammifères, voyons les migrations aviaires. Ce sont les plus évidentes, les mieux connues, les plus perfectionnées. Tous les Oiseaux, cependant, ne sont pas migrateurs et l'on peut observer toutes les transitions entre les sédentaires et les vrais migrateurs.

Ainsi, la Perdrix grise ne s'éloigne guère des régions où elle est née. Il en est de même pour le Lagopède d'Europe.

Quelques espèces sont partiellement sédentaires; c'est le cas des Freux; beaucoup de ces Oiseaux demeurent au voisinage de leur corbeauté natale, alors que certains individus émigrent.

D'autres espèces sont erratiques: Fauvettes, Mésanges, Rouges-Gorges, Mouettes, Goélands, par exemple.

A ces derniers Oiseaux, se rattachent étroitement les migrateurs à escales, qui font des stations plus ou moins prolongées en des régions diverses, et, de ce fait, n'apparaissent pas à date bien déterminée dans tel ou tel pays.

Les vrais migrateurs, par contre, partent et arrivent à date à peu près fixe; leurs escales, lorsqu'elles ont lieu, sont généralement très courtes.

L'Hirondelle de cheminée apparaît, en France, entre le 1^{er} et le 15 avril et émigre fin octobre. Le même couple revient souvent, à son ancien nid, pendant plusieurs années de suite.

Le Martinet, qui ressemble à l'Hirondelle, arrive dans nos pays vers le 15 mai et nous quitte, fin août.

L'Etourneau arrive en janvier-février et s'en va en novembre-décembre.

Le Lorient ou Oiseau de la Pentecôte apparaît, chez nous, à l'époque de cette fête et part en août.

Callies, Grues, Cigognes, etc. émigrent également à des dates bien déterminées.

La plupart des espèces migratrices de nos régions vont passer l'hiver en Afrique et particulièrement dans la moitié orientale de ce continent, depuis le Soudan Egyptien jusqu'au cap de Bonne Espérance.

Si l'on admet que la patrie d'un animal est l'endroit où il se reproduit, on peut dire que la patrie de presque tous les Oiseaux se trouve dans l'hémisphère Nord, puisque leurs migrations se font, généralement, de cette région vers l'Equateur,

les déplacements en sens inverse étant beaucoup moins importants.

Comme celles des Oiseaux, les migrations des Poissons que nous allons maintenant envisager ont, depuis longtemps, intéressé les naturalistes. C'est ainsi qu'Aristote parle déjà des déplacements de l'Anguille.

Des ouvrages entiers, dont les uns sont fort importants, sont consacrés aux migrations des Poissons; aussi, il est très difficile de donner de celles-ci une brève vue d'ensemble. Le mieux est donc de se limiter à quelques migrateurs typiques, le Hareng, le Thon, l'Anguille et le Saumon.

Les Harengs, dont il existe plusieurs races, sont des Poissons qui habitent les eaux continentales froides et peu salées. Leurs migrations, qui sont plus verticales qu'horizontales, sont fonction des transgressions et des régressions marines.

On sait, maintenant, depuis les travaux de Le Danois, que les eaux chaudes et très salées de l'Atlantique intertropical progressent vers le Nord au cours de l'été et atteignent successivement le golfe de Gascogne, la mer d'Irlande, la Manche, la mer du Nord, et, enfin, les côtes d'Islande et de Norvège.

En hiver, le phénomène inverse se produit, les eaux chaudes et salées reculent au profit des eaux froides et moins salées, d'origine boréale.

Ces transgressions et régressions saisonnières obéissent, de plus, à une quintuple périodicité qui dépend des rythmes sol-lunaires. Elles semblent liées, également, au rythme des taches solaires.

En été, les Harengs restent en profondeur. Ils ne peuvent, en effet, apparaître en surface, les eaux superficielles étant chaudes et salées; ces eaux constituent, pour les Harengs, une sorte de « plafond ».

Vers la fin de l'été, les eaux chaudes régressent vers le Sud et la remontée des Harengs s'effectue progressivement. Ils apparaissent donc successivement en surface, simulant ainsi un déplacement du Nord au Sud. Il en résulte que le Hareng, comme le dit Léon Bertin, « est un véritable détecteur biologique des mouvements transgressifs et régressifs des eaux chaudes ».

Les migrations de la Morue, qui est également un Poisson d'eau froide, sont analogues à celles du Hareng. Notons qu'en certaines années, qui semblent correspondre aux périodes de maxima des taches solaires, l'eau polaire est insuffisamment

abondante et « l'eau de Morue » fait défaut sur les bancs. Le Poisson est alors rare et la pêche est maigre.

Si le Hareng et la Morue sont des Poissons d'eaux froides, la Sardine et le Maquereau sont, par contre, des Poissons d'eaux chaudes. Ils suivent les transgressions et les régressions de ces eaux, et, ici, encore, l'apparence de déplacement horizontal est due à l'apparition successive de différentes populations de Sardines ou de Maquereaux venues de la profondeur.

Harengs, Morues, Sardines, Maquereaux ne sont, évidemment, que de « petits migrants »; leurs déplacements ont lieu du large et de la profondeur vers la côte et inversement. Avec le Thon, l'Anguille et le Saumon, le spectacle change; nous assistons, avec ces Poissons, à des migrations horizontales de très grande amplitude.

Les migrations du Thon s'effectuent dans le même milieu, la mer. Celles de l'Anguille et du Saumon se font dans deux milieux différents, la mer et les eaux douces.

Voyons d'abord les migrations du Thon.

Il existe deux sortes de Thons, le Thon blanc ou Germon, propre à l'Atlantique, et le Thon rouge ou Thon commun, surtout pêché en Méditerranée. Les migrations des deux espèces étant analogues, examinons seulement celles du Thon blanc.

Au début du printemps, on trouve le Germon au sud-ouest de Madère, à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Il fraie et se disperse ensuite dans les eaux transgressives moins profondes qui, partant des Açores et des Canaries, s'étendent vers le Nord de l'Europe. Le Germon atteint, ainsi, le Sud de l'Irlande.

Fin août et début septembre, il retourne vers les Açores et les Canaries en se maintenant dans les eaux régressives profondes dont la température reste égale à 14 degrés. Le cycle recommence au printemps suivant.

« A l'extension estivale et trophique, écrit Léon Bertin, succède donc une rétraction hivernale et génétique qui peuvent être comparées aux deux phases d'une gigantesque pulsation. »

Comme on le voit, les migrations du Thon n'ont rien de compliqué. Il en est tout autrement pour l'Anguille et le Saumon.

L'Anguille vulgaire habite, à l'état adulte, nos fleuves, nos rivières, nos lacs et nos étangs. On la trouve, également, dans tous les cours d'eau d'Europe, sauf dans ceux qui se déversent dans la mer Noire et dans la mer Caspienne. Elle est fréquente sur les côtes de la Méditerranée, en Asie, en Afrique et jus-

qu'aux îles Canaries. En Amérique, on rencontre une espèce d'Anguille un peu différente de l'Anguille vulgaire; elle est très abondante dans les fleuves de l'Océan Atlantique et moins fréquente dans ceux du golfe du Mexique. Son aire d'extension atteint le Groenland, mais elle n'existe pas le long de la côte orientale de l'Amérique du Sud; on la chercherait, également, en vain, sur la côte américaine du Pacifique.

Les Anguilles des eaux douces sont extrêmement voraces; les femelles croissent rapidement, mais leurs organes génitaux restent rudimentaires. Lorsque la maturité sexuelle s'annonce, le Poisson change d'aspect; le ventre prend de belles couleurs orangées à reflets d'argent, les nageoires et le dos noircissent, les yeux s'agrandissent. L'Anguille a revêtu sa « livrée nuptiale ».

Les mâles restent toujours plus petits que les femelles et demeurent, également, à l'état d'immaturité sexuelle, mais on a pu provoquer le développement de leurs organes génitaux par injection intramusculaire d'urine de femme caécotée; ils meurent après la dernière émission de sperme.

En automne, les Anguilles argentées descendent les rivières où elles ont passé leur existence, gagnent les fleuves, et, enfin, la mer. Elles voyagent, de préférence, la nuit. Le jour, elles s'arrêtent, se terrant dans des creux, puis, le soir venu, reprennent leur route. Souvent, plusieurs Anguilles s'enroulent ensemble et le peloton formé se laisse emporter par le courant.

Les Anguilles d'étangs participent, elles aussi, à la migration. La nuit arrivée, elles sortent de l'eau et gagnent la rivière la plus proche en cheminant à travers l'herbe humide de rosée; l'appareil branchial des Anguilles est, en effet, suffisamment clos pour résister, pendant quelque temps, à la dessiccation.

Les Anguilles des lagunes, des estuaires, des étangs littoraux communiquant avec la mer, se comportent d'une façon un peu différente. Elles attendent, par une nuit sans Lune et par ciel couvert, l'arrivée de l'eau marine; quand le reflux se produit, elles se laissent transporter vers la mer.

Pendant longtemps, on a ignoré l'endroit du rassemblement des Anguilles, en supposant qu'il y en eût un. On sait, maintenant, qu'elles se rencontrent, toutes, dans la mer des Sargasses qui est le lieu de leur reproduction. On a pu les suivre jusque-là, grâce à des expériences de marquage, mais on ne sait pas exactement ce qu'elles deviennent à partir du moment où elles disparaissent dans les profondeurs.

D'après les recherches de J. Schmidt, de Bertin et de Roule,

la ponte et l'insémination s'effectueraient à des profondeurs voisinant 400 ou 500 mètres. Après quoi, les Anguilles épuisées ne tarderaient pas à mourir.

De l'œuf sort une larve plate, en forme de feuille de saule, transparente comme le cristal, le Leptocéphale. Cette larve nage vers la surface et devient planktonique.

La naissance des Leptocéphales a lieu de mars en juillet. On les retrouve, plus tard, et d'année en année, à une plus grande distance de l'aire de ponte. Le Gulf-Stream et les transgressions chaudes estivales les entraînent vers l'Europe et l'Afrique du Nord à mesure qu'ils grandissent. Au bout de deux ans et demi, les Leptocéphales arrivent au voisinage des côtes et se métamorphosent en jeunes Anguilles transparentes ou Civelles, appelées encore, dans le langage courant, Anguilles de verre.

Les Civelles ne restent pas, en général, sur le rivage, mais pénètrent, en nombre immense, dans les lagunes littorales et dans les estuaires. « Cette montée, écrit Léon Bertin, est un des phénomènes biologiques les plus impressionnants lorsque, toutes les conditions favorables étant réalisées, elle revêt l'aspect spécial auquel on donne le nom de cordon. Parfois, ce cordon mesure plusieurs kilomètres de longueur sur un mètre de largeur environ et un demi-mètre d'épaisseur. Les Civelles, par millions, se groupent pour le former. La progression à contre-courant cesse le jour pour reprendre la nuit. Aucun obstacle ne l'arrête. Du fleuve aux affluents, les Civelles pénètrent, ainsi, jusque dans les moindres étendues d'eau douce. »

Les Civelles se pigmentent bientôt et sont alors des Anguillettes qui, par la suite, se transformeront en Anguilles jaunes. Les Anguilles jaunes se développeront pendant dix à quinze ans, deviendront argentées, et, à ce moment, prendront leur départ vers la mer.

Ainsi, le cycle des migrations de l'Anguille comprend deux phases : une phase génétique ou de concentration, vers la mer des Sargasses, et une phase trophique, d'accroissement ou de dispersion, dans les eaux continentales.

Les migrations du Saumon sont analogues à celles de l'Anguille, mais s'effectuent en sens inverse. Alors que l'Anguille va pondre en mer, le Saumon se reproduit dans les eaux douces.

Le Saumon, à l'état adulte, habite normalement les grandes profondeurs de la mer. Dès que ses organes génitaux entrent en activité, il quitte l'eau salée et s'engage dans l'estuaire des

fleuves. C'est alors un magnifique et vigoureux Poisson pouvant peser une dizaine de kilogrammes. Il remonte fleuves, rivières, torrents, franchit d'un bond des barrages hauts de 2 à 3 mètres, « tendu, écrit Léon Bertin, par un but impérieux », celui d'atteindre les lieux de ponte, des ruisseaux de moyenne ou de haute altitude, aux eaux claires et oxygénées.

Dans son voyage qui peut être plus ou moins long suivant la longueur du trajet et l'époque d'entrée dans le bassin fluvial, l'animal ne s'alimente pas ; il vit de ses réserves, constituées essentiellement par sa graisse colorée, riche en carotène.

Les femelles, arrivées au but, déposent leurs œufs dans un sillon qu'elles ont creusé avec leur abdomen ; ils sont ensuite inséminés par les mâles. Épuisés par le voyage et par le jeûne, les reproducteurs meurent généralement après l'acte sexuel. Quelques-uns, cependant, réussissent à prendre le fil de l'eau qui les ramène, de proche en proche, jusqu'à la mer.

Les œufs fécondés donnent naissance à des alevins en février-mars. Au bout de 2 à 3 ans, les alevins atteignent 12 à 15 cm. Ce sont alors de jeunes Saumons ou Tacons. Les Tacons descendent les fleuves, arrivent à la mer où ils achèvent leur développement. On croyait naguère, avec Le Danois, que les Saumons demeuraient alors, invariablement, dans les estuaires et les deltas sous-marins qui prolongent l'embouchure des fleuves actuels et qui représentent les anciens estuaires et deltas des fleuves du quaternaire qui étaient beaucoup plus étendus que ceux d'aujourd'hui. En fait, des observations récentes ont montré qu'il n'en est pas toujours ainsi.

Le Saumon n'est pas le seul Poisson de mer qui va pondre en eau douce. Les Aloses, les Esturgeons, les Lampretes se comportent de même. Par contre, les Muges ou Mulettes, les Daurades, les Bars, qui vivent dans les estuaires, déposent leurs œufs en mer ; leurs œufs sont donc analogues à ceux de l'Anguille mais, contrairement à celle-ci, leurs voyages sont réduits à de simples déplacements.

Les migrations des Insectes qu'il nous reste à envisager n'étant que rarement cycliques seront brièvement étudiées.

Les phénomènes migratoires font parfois partie du cycle vital de l'espèce et se reproduisent régulièrement, tous les ans, à la même époque. On les trouve chez les Pucerons, les Phylloxères et les Chermèsiens. Chez ces Insectes, le cycle évolutif comprend une génération sexuée suivie de générations asexuées plus ou moins nombreuses. Les individus qui se reproduisent sans fécondation sont généralement aptères, mais il

arrive un moment où certains d'entre eux acquièrent des ailes qui leur permettent d'émigrer.

Dans d'autres groupes, on assiste à des exodes massifs : Carabides, Coccinellides, Crysomélides (le Doryphore, par exemple), Libellules, Papillons et surtout Criquets peuvent, en certaines circonstances, se réunir en nombre immense et émigrer.

On a vu, par exemple, des Piérides (Papillon du Chou) former de véritables nuages qui obscurcissent le Soleil. Ces groupements comprenaient 3 à 4 millions d'individus.

Mais, c'est principalement avec les Criquets, vulgairement appelés Sauterelles, que les migrations prennent une importance énorme.

On sait, depuis les travaux du naturaliste russe, B. P. Uvarov, qu'il existe, chez toutes les espèces d'Acridiens, deux formes différentes, auxquelles on a donné le nom de phases, une phase solitaire et une phase grégaire. Entre ces deux formes extrêmes, existent des formes de transition ou formes transiens.

Le passage d'une phase à l'autre a lieu dans des conditions écologiques bien déterminées et en certaines années. On ignore, actuellement, la cause de la périodicité du phénomène. Le rythme des taches solaires, parfois invoqué, ne semble pas intervenir.

Les individus de la forme solitaire vivent isolés et n'ont aucune tendance à se rapprocher les uns des autres. Ceux de la forme grégaire cherchent, au contraire, à se réunir en bandes serrées et se déplacent de concert.

La femelle pond 60 à 100 œufs réunis en une sorte de grappe. Ces œufs éclosent au bout d'un mois environ et donnent des larves qui ressemblent déjà à l'adulte. Dès leur éclosion, les larves se réunissent en bandes primaires qui ne tardent pas à se fusionner avec d'autres bandes analogues. Des rassemblements comptant plusieurs millions d'individus se constituent ainsi. Les bandes se mettent en marche et avancent, en rangs serrés, dans la même direction, traversant routes, fossés, voies ferrées, etc. Aucun obstacle ne les arrête. Leur appétit est insatiable; derrière eux, c'est le désert.

Les larves subissent une série de mues et grandissent. Au bout d'un mois environ, l'insecte possède ses caractères définitifs; c'est un adulte. Il peut s'envoler pour aller pondre ailleurs. Après quelques essais de vol en groupe, le départ a lieu

et on assiste, alors, à d'énormes déplacements, pouvant intéresser des trillions d'individus.

L'invasion d'une région par de telles bandes se traduit par la destruction totale de la végétation. Pour en souligner la gravité, il nous suffira de signaler que l'invasion de 1867-68, en Afrique du Nord, amena une famine causant la mort de 500.000 Arabes.

Après cet exposé des faits, il conviendrait d'examiner les nombreux problèmes, d'ordre théorique, posés par les migrations animales, mais la plupart d'entre eux, débordant le cadre d'une étude sur les rythmes, nous ne verrons, ici, que le plus important et le plus directement rattaché à notre sujet, celui des causes des migrations.

La plupart des migrations de Mammifères semblent provoquées, ainsi que nous l'avons signalé à propos des Bisons, par le développement anormal des individus, d'où exode par insuffisance de nourriture locale. Ce développement exagéré paraît, lui-même, déterminé par des influences extrinsèques, rythmiques, d'ordre terrestre ou même cosmique. De plus, des facteurs d'une nature tout à fait différente peuvent également entrer en jeu dans ces migrations, l'esprit d'imitation, la peur, etc.

Les migrations aviaires auraient essentiellement une cause paléontologique. Apparues au milieu du secondaire, les Oiseaux se développent brusquement au tertiaire. La température est alors généralement élevée à la surface de la Terre et la nourriture abondante; les Oiseaux n'éprouvent pas le besoin de changer de résidence. Peu à peu, les saisons apparaissent; les Oiseaux se déplacent progressivement vers le sud afin de demeurer constamment sous un climat chaud. Mais, par habitude héréditaire, ils reviennent, à chaque printemps, dans leur patrie originelle y assurer leur reproduction. L'instinct migrateur acquis au cours de l'évolution serait actuellement soumis à des facteurs hormonaux, hypophysaires et gonadiens, eux-mêmes accordés, en un lieu déterminé, à la plus ou moins grande intensité lumineuse qui est fonction de l'allongement ou de la diminution des jours.

En ce qui concerne les migrations des Poissons, on a fait souvent intervenir les tropismes. Ainsi, le Saumon serait attiré par des eaux riches en oxygène, l'Anguille, par des eaux chaudes, etc. Mais, en fait, les tropismes ne semblent pas des causes primaires et se montrent insuffisants pour expliquer

l'origine du phénomène migratoire. Il est probable qu'ici encore, interviennent des facteurs endocriniens.

Enfin, les migrations des Insectes seraient déterminées, d'une part, par le besoin d'une nourriture abondante et, d'autre part, par la recherche de lieux favorables à la reproduction. Elles seraient déclenchées, à la fois, par des facteurs internes, l'état des organes sexuels, en particulier, et par des facteurs externes, la température, l'humidité, par exemple.

En réalité, bien des incertitudes subsistent encore sur l'origine des migrations, aussi, nous terminerons cette étude en faisant nôtre la conclusion du célèbre ornithologiste J. Berlioz, citée par R. Thévenin dans son charmant petit livre sur les migrations :

« On a tant écrit, dit Berlioz, tant émis d'hypothèses et de théories sur l'origine des migrations, qu'il semble bien difficile d'en tirer une conclusion précise et plausible, et toutes les allusions, soit à une attirance ancestrale quelconque, soit à une force propulsive inconnue, soit à des phénomènes de nature magnétique, etc., par lesquelles on a cru pouvoir donner des explications d'apparence scientifique à la biologie complexe des migrations, restent encore complètement dépourvues de fondement pratique. »

CHAPITRE III

RYTHMES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Ce chapitre, assez court, est dominé par l'étude des rythmes chimiques dont on ne saurait trop souligner l'importance, car ces rythmes sont, probablement, à l'origine d'un certain nombre de phénomènes périodiques physiques, biologiques et pathologiques; leur observation systématique ouvrirait, croyons-nous, des perspectives inattendues au physicien, au biologiste, au pharmacologue et au thérapeute.

On peut les diviser en deux groupes : les rythmes statiques exprimés par la classification de Mendeleïeff et les rythmes dynamiques qui comprennent les réactions périodiques.

Voyons donc les rythmes chimiques sous ce double aspect après avoir signalé, rapidement, quelques rythmes physiques dont les plus importants sont bien connus.

24. Rythmes physiques

Les mouvements périodiques étudiés en mécanique et en physique sont rythmiques.

Le son est de nature ondulatoire.

En optique et en électricité, il est question d'ondes et d'oscillations.

Ce sont là des notions classiques que nous ne faisons qu'indiquer.

Les quelques phénomènes suivants, d'ailleurs assez disparates, sont, par contre, moins connus :

Des discontinuités d'adsorption gazeuse ont été décelées sur le verre et sur le cuivre.

La dessiccation de la gélatine se produit par zones périodiques.

Des périodicités ont été signalées dans certains processus de déshydratation et d'hydratation.

La dureté des aciers, celle des alliages d'Aluminium, varient périodiquement avec le nombre de trempes. La « fatigue » des

métaux et des alliages, les phénomènes d'écroutissage présentent un caractère rythmique. Prenons une tige d'acier au fer-nickel, ce que l'on appelle, en métallurgie, une éprouvette, et soumettons-la à une forte traction. Un étranglement se forme en un point de la tige; continuons d'étirer; on pourrait s'attendre à une rupture de la barre à l'endroit menacé, mais rien de tel n'a lieu: un étranglement se produit ailleurs. Si nous poursuivons l'expérience, d'autres étranglements se forment, si bien qu'à la fin de l'essai, le métal est écrouti. Tout se passe comme si des particules de métal venaient consolider la partie menacée ou comme si les molécules de la région étranglée s'assemblaient en une architecture nouvelle. Quel que soit, d'ailleurs, le processus envisagé, le phénomène en question implique l'existence d'une activité métallique rythmique.

D'autres rythmes physiques peuvent être encore envisagés. Les points de fusion des mélanges d'ortho et de paratoluène varient selon la composition de ces mélanges.

Toutes les matières colorantes amphotères peignent dans le papier filtre en donnant des zones alternativement foncées et claires.

L'électrolyse se présente, souvent, avec un certain caractère de périodicité. Le fait a été remarqué par Joule, Schönbein, etc., dès leurs premières recherches.

Ainsi, les bains d'acide chromique, de sulfures alcalins, d'iodures alcalins, de sels de nickel ammoniacaux, d'acide sulfurique dilué, de malonate d'éthyle potassium, etc., subissent, dans certaines conditions, une décomposition électrolytique périodique qui se traduit, soit par des fluctuations du courant d'électrolyse, soit par des variations rythmiques de potentiel, soit, encore, par des rythmicités de dépôt aux électrodes.

Dans le même ordre d'idées, on a constaté que certaines réactions chimiques étaient capables d'engendrer des forces électromotrices périodiques.

Ainsi, Kistiakowsky a obtenu un courant alternatif au moyen d'une pile dont l'électrolyte était un mélange chromique et les électrodes, des lames de fer préalablement immergées dans de l'acide sulfurique. Les électrodes présentaient un changement périodique de la polarité.

De même, Heyrowsky a observé des variations périodiques notables de la force électromotrice dans la chaîne suivante: Mercure/Chlorure d'Aluminium, Chlorure de Potassium/Aluminium. On pourrait citer d'autres exemples analogues (fig. 18). Ces variations mériteraient une étude particulière appro-

fondie étant donné l'importance, en sciences expérimentales, des mesures exactes des forces électromotrices.

Enfin, achevons ce bref paragraphe en notant que l'émission des ions positifs par une hélice de platine portée à l'incandescence dans une atmosphère d'oxygène s'effectue périodiquement.

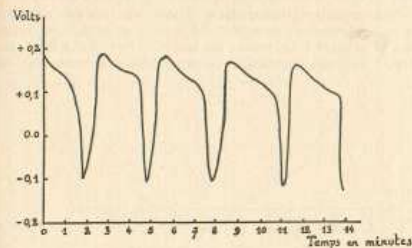


FIG. 18. — Variations du potentiel d'une anode de fer opposée à une cathode de platine, dans un bain d'acide chromique (d'après Rathert).

25. Rythmes physico-chimiques

Classification de Mendeleïeff

Les principales propriétés des éléments sont des fonctions périodiques de leur masse atomique. Insistons sur ce point capital qui domine l'étude des rythmes chimiques.

C'est vers 1876 que le chimiste russe Mendeleïeff remarqua l'existence d'une certaine périodicité dans les propriétés physiques et chimiques des éléments.

A vrai dire, l'idée n'était pas absolument nouvelle, puisque, quelques années auparavant, le chimiste français De Chancourtols et le chimiste anglais Newlands avaient fait une constatation analogue, mais celle-ci parut alors tellement bizarre qu'il y eut des chimistes pour demander ironiquement si l'on ne trouverait pas une loi analogue en classant les éléments par ordre alphabétique, et le principe fut rejeté.

Rangeons les éléments dans l'ordre croissant de leur masse

atomique (en laissant de côté l'Hydrogène et l'Hélium), nous constatons qu'à partir du 9^e élément nous retrouvons des corps semblables aux huit premiers.

Ecrivons donc les 8 premiers éléments sur une première ligne horizontale, les 8 suivants sur une deuxième ligne et ainsi de suite, nous formons le tableau de la page suivante.

Examinons ce tableau. Nous voyons que les éléments des colonnes verticales présentent des propriétés analogues. Ainsi, dans la colonne I, on trouve les *métaux alcalins* (Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, Césium); dans la colonne II, les

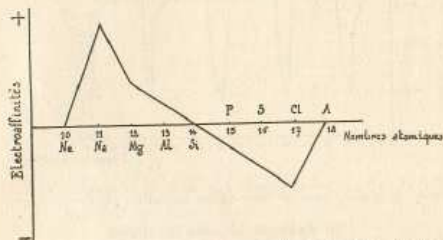


FIG. 10. — Electroaffinité des éléments de la période allant du Néon (Ne) à l'Argon (Ar).

métaux alcalino-terreux (Calcium, Strontium, Baryum, Radium); dans la colonne VII, les *halogènes* (Fluor, Chlore, Brome, Iode); dans la colonne VI, les *métalloïdes divalents* (Oxygène, Soufre, Sélénium, Tellure); dans la colonne V, les *métalloïdes trivalents* (Azote, Phosphore, Arsenic, Antimoine); dans la colonne IV, les *métalloïdes tétravalents* (Carbone, Silicium) et, enfin, dans la colonne 0, les *gaz rares* (Néon, Argon, Krypton, Xénon, Radon).

De plus, on constate que, dans chaque période, c'est-à-dire dans les rangées horizontales, les propriétés des éléments se modifient régulièrement et périodiquement. C'est le cas, par exemple, pour la diminution de l'électropositivité, autrement dit du caractère métallique : les éléments des colonnes I, II, III sont électropositifs; ceux des colonnes V, VI, VII sont

CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS
Chaque case contient le nombre atomique, le symbole de l'élément correspondant et la masse atomique de celui-ci.

LANTHANIDES							
Période	Groupes I	Groupes II, III	Groupes IV	Groupes V	Groupes VI	Groupes VII	Groupes VIII
I	1 H 1,0078						
II	3 Li 6,94	4 Be 9,012	9 Be 9,012	11 B 10,81	12 C 12,00	13 N 14,007	14 O 15,999
III	7 N 14,007	9 B 10,81	10 Be 9,012	12 C 12,00	14 Si 28,086	16 S 32,06	18 Ar 39,944
IV	9 Li 6,94	10 Be 9,012	11 B 10,81	13 Al 26,982	15 P 30,974	17 Cl 35,457	19 K 39,098
V	11 Na 22,990	12 Mg 24,305	13 Al 26,982	14 Si 28,086	16 S 32,06	18 Ar 39,944	20 Ca 40,078
VI	13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,06	18 Ar 39,944	19 K 39,098	21 Sc 44,956
VII	15 P 30,974	16 S 32,06	18 Ar 39,944	19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 79,904
VIII	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944	19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 79,904	23 V 50,942
IX	19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 79,904	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938
X	21 Sc 44,956	22 Ti 79,904	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,847	27 Co 58,933
XI	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,847	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546
XII	25 Mn 54,938	26 Fe 55,847	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,723
XIII	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,723	32 Ge 72,630	33 As 74,922
XIV	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,723	32 Ge 72,630	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904
XV	31 Ga 69,723	32 Ge 72,630	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80	37 Rb 85,468
XVI	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906
XVII	35 Br 79,904	36 Kr 83,80	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906
XVIII	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906
XIX	39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91
XX	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,92	47 Ag 107,87
XXI	43 Tc 98,906	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,92	47 Ag 107,87	48 Cd 112,40	49 In 114,82
XXII	45 Rh 102,91	46 Pd 106,92	47 Ag 107,87	48 Cd 112,40	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76
XXIII	47 Ag 107,87	48 Cd 112,40	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90
XXIV	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29	55 Cs 132,91
XXV	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29	55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57 La 138,91
XXVI	53 I 126,90	54 Xe 131,29	55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91
XXVII	55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 144,91
XXVIII	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 144,91	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96
XXIX	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 144,91	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93
XXX	61 Pm 144,91	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93
XXXI	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93
XXXII	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97
XXXIII	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95
XXXIV	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21
XXXV	71 Lu 174,97	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22
XXXVI	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97
XXXVII	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38
XXXVIII	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98
XXXIX	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po 209	85 At 210
XL	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222	87 Fr 223
XL I	83 Bi 208,98	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222	87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227
XL II	85 At 210	86 Rn 222	87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231
XL III	87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237
XL IV	89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243
XL V	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247
XL VI	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252
XL VII	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258
XL VIII	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260
XL IX	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260	104 Rf 261	105 Db 262
L	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260	104 Rf 261	105 Db 262	106 Sg 266	107 Bh 264
LI	103 Lr 260	104 Rf 261	105 Db 262	106 Sg 266	107 Bh 264	108 Hs 277	109 Mt 268
LII	105 Db 262	106 Sg 266	107 Bh 264	108 Hs 277	109 Mt 268	110 Ds 271	111 Rg 272
LIII	107 Bh 264	108 Hs 277	109 Mt 268	110 Ds 271	111 Rg 272	112 Cn 285	113 Nh 284
LIV	109 Mt 268	110 Ds 271	111 Rg 272	112 Cn 285	113 Nh 284	114 Fl 289	115 Lv 293
LV	111 Rg 272	112 Cn 285	113 Nh 284	114 Fl 289	115 Lv 293	116 Ts 294	117 Uu 294
LVI	113 Nh 284	114 Fl 289	115 Lv 293	116 Ts 294	117 Uu 294	118 Uub 293	119 Uuh 295
LVII	115 Lv 293	116 Ts 294	117 Uu 294	118 Uub 293	119 Uuh 295	120 Uu 296	121 Uu 297
LX	117 Uu 294	118 Uub 293	119 Uuh 295	120 Uu 296	121 Uu 297	122 Uu 298	123 Uu 299
LXI	119 Uuh 295	120 Uu 296	121 Uu 297	122 Uu 298	123 Uu 299	124 Uu 301	125 Uu 302
LXII	121 Uu 297	122 Uu 298	123 Uu 299	124 Uu 301	125 Uu 302	126 Uu 303	127 Uu 304
LXIII	123 Uu 299	124 Uu 301	125 Uu 302	126 Uu 303	127 Uu 304	128 Uu 305	129 Uu 306
LXIV	125 Uu 302	126 Uu 303	127 Uu 304	128 Uu 305	129 Uu 306	130 Uu 307	131 Uu 308
LXV	127 Uu 304	128 Uu 305	129 Uu 306	130 Uu 307	131 Uu 308	132 Uu 309	133 Uu 310
LXVI	129 Uu 306	130 Uu 307	131 Uu 308	132 Uu 309	133 Uu 310	134 Uu 311	135 Uu 312
LXVII	131 Uu 308	132 Uu 309	133 Uu 310	134 Uu 311	135 Uu 312	136 Uu 313	137 Uu 314
LXVIII	133 Uu 310	134 Uu 311	135 Uu 312	136 Uu 313	137 Uu 314	138 Uu 315	139 Uu 316
LXIX	135 Uu 312	136 Uu 313	137 Uu 314	138 Uu 315	139 Uu 316	140 Uu 317	141 Uu 318
LXX	137 Uu 314	138 Uu 315	139 Uu 316	140 Uu 317	141 Uu 318	142 Uu 319	143 Uu 320
LXXI	139 Uu 316	140 Uu 317	141 Uu 318	142 Uu 319	143 Uu 320	144 Uu 321	145 Uu 322
LXXII	141 Uu 318	142 Uu 319	143 Uu 320	144 Uu 321	145 Uu 322	146 Uu 323	147 Uu 324
LXXIII	143 Uu 320	144 Uu 321	145 Uu 322	146 Uu 323	147 Uu 324	148 Uu 325	149 Uu 326
LXXIV	145 Uu 322	146 Uu 323	147 Uu 324	148 Uu 325	149 Uu 326	150 Uu 327	151 Uu 328
LXXV	147 Uu 324	148 Uu 325	149 Uu 326	150 Uu 327	151 Uu 328	152 Uu 329	153 Uu 330
LXXVI	149 Uu 326	150 Uu 327	151 Uu 328	152 Uu 329	153 Uu 330	154 Uu 331	155 Uu 332
LXXVII	151 Uu 328	152 Uu 329	153 Uu 330	154 Uu 331	155 Uu 332	156 Uu 333	157 Uu 334
LXXVIII	153 Uu 330	154 Uu 331	155 Uu 332	156 Uu 333	157 Uu 334	158 Uu 335	159 Uu 336
LXXIX	155 Uu 332	156 Uu 333	157 Uu 334	158 Uu 335	159 Uu 336	160 Uu 337	161 Uu 338
LXXX	157 Uu 334	158 Uu 335	159 Uu 336	160 Uu 337	161 Uu 338	162 Uu 339	163 Uu 340
LXXXI	159 Uu 336	160 Uu 337	161 Uu 338	162 Uu 339	163 Uu 340	164 Uu 341	165 Uu 342
LXXXII	161 Uu 338	162 Uu 339	163 Uu 340	164 Uu 341	165 Uu 342	166 Uu 343	167 Uu 344
LXXXIII	163 Uu 340	164 Uu 341	165 Uu 342	166 Uu 343	167 Uu 344	168 Uu 345	169 Uu 346
LXXXIV	165 Uu 342	166 Uu 343	167 Uu 344	168 Uu 345	169 Uu 346	170 Uu 347	171 Uu 348
LXXXV	167 Uu 344	168 Uu 345	169 Uu 346	170 Uu 347	171 Uu 348	172 Uu 349	173 Uu 350
LXXXVI	169 Uu 346	170 Uu 347	171 Uu 348	172 Uu 349	173 Uu 350	174 Uu 351	175 Uu 352
LXXXVII	171 Uu 348	172 Uu 349	173 Uu 350	174 Uu 351	175 Uu 352	176 Uu 353	177 Uu 354
LXXXVIII	173 Uu 350	174 Uu 351	175 Uu 352	176 Uu 353	177 Uu 354	178 Uu 355	179 Uu 356
LXXXIX	175 Uu 352	176 Uu 353	177 Uu 354	178 Uu 355	179 Uu 356	180 Uu 357	181 Uu 358
LXXXX	177 Uu 354	178 Uu 355	179 Uu 356	180 Uu 357	181 Uu 358	182 Uu 359	183 Uu 360
LXXXX I	179 Uu 356	180 Uu 357	181 Uu 358	182 Uu 359	183 Uu 360	184 Uu 361	185 Uu 362
LXXXX II	181 Uu 358	182 Uu 359	183 Uu 360	184 Uu 361	185 Uu 362	186 Uu 363	187 Uu 364
LXXXX III	183 Uu 360	184 Uu 361	185 Uu 362	186 Uu 363	187 Uu 364	188 Uu 365	189 Uu 366
LXXXX IV	185 Uu 362	186 Uu 363	187 Uu 364	188 Uu 365	189 Uu 366	190 Uu 367	191 Uu 368
LXXXX V	187 Uu 364	188 Uu 365	189 Uu 366	190 Uu 367	191 Uu 368	192 Uu 369	193 Uu 370
LXXXX VI	189 Uu 366	190 Uu 367	191 Uu 368	192 Uu 369	193 Uu 370	194 Uu 371	195 Uu 372
LXXXX VII	191 Uu 368	192 Uu 369	193 Uu 370	194 Uu 371	195 Uu 372	196 Uu 373	197 Uu 374
LXXXX VIII	193 Uu 370	194 Uu 371	195 Uu 372	196 Uu 373	197 Uu 374	198 Uu 375	199 Uu 376
LXXXX IX	195 Uu 372	196 Uu 373	197 Uu 374	198 Uu 375	199 Uu 376	200 Uu 377	201 Uu 378
LXXXX X	197 Uu 374	198 Uu 375	199 Uu 376	200 Uu 377	201 Uu 378	202 Uu 379	203 Uu 380
LXXXX XI	199 Uu 376	200 Uu 377	201 Uu 378	202 Uu 379	203 Uu 380	204 Uu 381	205 Uu 382
LXXXX XII	201 Uu 378	202 Uu 379	203 Uu 380	204 Uu 381	205 Uu 382	206 Uu 383	207 Uu 384
LXXXX XIII	203 Uu 380	204 Uu 381	205 Uu 382	206 Uu 383	207 Uu 384	208 Uu 385	209 Uu 386
LXXXX XIV	205 Uu 382	206 Uu 383	207 Uu 384	208 Uu 385	209 Uu 386	210 Uu 387	211 Uu 388
LXXXX XV	207 Uu 384	208 Uu 385	209 Uu 386	210 Uu 387	211 Uu 388	212 Uu 389	213 Uu 390
LXXXX XVI	209 Uu 386	210 Uu 387	211 Uu 388	212 Uu 389	213 Uu 390	214 Uu 391	215 Uu 392
LXXXX XVII	211 Uu 388	212 Uu 389	213 Uu 390	214 Uu 391	215 Uu 392	216 Uu 393	217 Uu 394
LXXXX XVIII	213 Uu 390	214 Uu 391	215 Uu 392	216 Uu 393	217 Uu 394	218 Uu 	

électronégatifs; ceux de la colonne IV sont indifférents, ceux de la colonne O sont inertes. Il en résulte que, si nous traduisons par une courbe l'électro-affinité des éléments par rapport aux gaz rares dont l'électro-affinité est nulle, on obtient un tracé d'allure sinusoïdale. Voici, par exemple, ce que l'on a avec la seconde période qui va du Néon à l'Argon (fig. 19). Le maximum d'électropositivité correspond au métal alcalin, Sodium, le maximum d'électronégativité correspond à l'halogène, Chlore; une électro-affinité nulle (ou sensiblement nulle) est le fait de l'élément indifférent, Silicium. Enfin, les éléments compris entre le Néon et le Silicium sont électropositifs (métaux) et les éléments compris entre le Silicium et l'Argon sont électro-négatifs (métalloïdes).

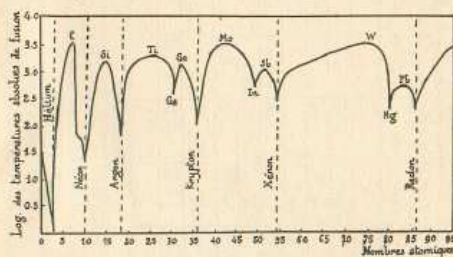


FIG. 20. — Variation de la fusibilité avec le nombre atomique.

D'autres propriétés : coefficient de dilatation, température de fusion (fig. 20), conductivité électrique, volume atomique à l'état solide (fig. 21), spectres lumineux, sont aussi des fonctions périodiques de la masse atomique.

Il est à remarquer, d'autre part, que le tableau est divisé en 7 périodes disposées sur des lignes horizontales.

La 1^{re} contient deux éléments : Hydrogène et Hélium; la 2^e en renferme 8; la 3^e, 8 également; la 4^e, 18 éléments; la 5^e, 18 et la 6^e, 32; la 7^e ligne, probablement incomplète, ne contient, présentement, que 12 éléments (compte tenu des transuraniens).

Or, fait curieux, le nombre des éléments des différentes périodes peut se mettre sous la forme :

$$2 \times 1^2 = 2$$

$$2 \times 2^2 = 8$$

$$2 \times 3^2 = 18$$

$$2 \times 4^2 = 32$$

D'où l'existence d'une périodicité particulière se superposant à la périodicité générale.

Sans doute, le système périodique de Mendeleïeff n'échappe pas à la critique : à deux reprises, au moins, le principe même

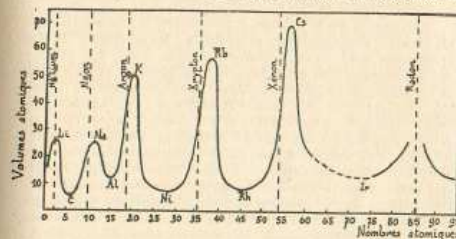


FIG. 21. — Variation du volume atomique avec le nombre atomique. Le volume atomique d'un élément est le volume occupé par 1 g de l'élément, pris à l'état solide, multiplié par sa masse atomique.

de la classification (croissance de la masse atomique) n'a pu être respecté, l'Argon ($A = 39,94$) étant placé avant le Potassium ($K = 39,09$) et le Tellure ($Te = 127,6$) avant l'Iode ($I = 126,9$) (1), mais cette objection a été levée grâce aux notions de nombre atomique et d'isotopie. D'autre part, on a été obligé de grouper ensemble des familles d'éléments qui présentent entre eux de grandes analogies mais qui ne rentrent pas dans le système général (Fer, Cobalt, Nickel. — Rutherfordium, Rhodium, Palladium. — Osmium, Iridium, Platine). Enfin, des analogies indiscutables ne sont pas indiquées (le Cuivre,

(1) On pourrait ajouter également le Cobalt et le Nickel.

le Manganèse, le Fer, le Cobalt, le Nickel, par exemple, devraient être placés dans une même colonne verticale, ce qui n'est pas, et, inversement, des éléments placés dans une même colonne verticale ne se ressemblent guère (c'est le cas pour le Cuivre et le Sodium, pour l'Oxygène et le Chrome, pour le Manganèse et les halogènes), mais remarquons que ce que l'on entend par analogies entre éléments est quelque chose d'assez vague et relatif, l'intérêt industriel et physiologique d'une réaction nous empêchant, en général, d'être impartiaux dans nos jugements; de plus, nous ne connaissons des corps que certaines de leurs propriétés; ce sont le plus souvent celles qui se manifestent à température peu élevée.

Par contre, les avantages présentés par la classification de Mendeleïeff sont nombreux et évidents: les analogies les plus frappantes sont formulées avec netteté; ainsi, les familles naturelles sont bien groupées (métaux alcalins, métaux alcalino-terreux, métalloïdes analogues). La classification a fait voir des analogies non encore remarquées entre certains éléments (Bore et Aluminium); elle a permis de rectifier certaines propriétés (Uranium et Titane) et de fixer la masse atomique de l'Indium. Enfin, grâce à elle, on a pu prévoir les propriétés de corps non encore découverts et devant occuper des cases vides. Ce fut le cas pour le Scandium, le Gallium, le Germanium, et, plus récemment, pour le Technetium, le Rhénium, l'Astatine et le Francium. D'autre part, on sait, depuis peu, que certains radioéléments occupent les cases 93, 94, 95, 96, 97, 98, à la suite de l'Uranium qui se trouve dans la case 92. Il semble, d'ailleurs, que la classification de Mendeleïeff doive aboutir à un gaz inerte, analogue au Radon, et occupant la case 118. Niels Bohr prétend qu'elle peut se prolonger jusqu'à la case 137.

Les six éléments faisant suite à l'Uranium et appelés, pour cette raison, transuraniens, sont le Neptunium, n° 93, le Plutonium, n° 94, l'Américium ou Américium, n° 95, le Curium, n° 96, le Berkélium, n° 97, et le Californium, n° 98. Ils ont été obtenus artificiellement par des réactions nucléaires produites à l'aide du cyclotron ou au moyen de la pile atomique.

Le Neptunium a été découvert, en 1940, par Seaborg. Il se forme au cours du bombardement de l'Uranium 238 par des neutrons.

Le Plutonium a été d'abord obtenu en bombardant l'Uranium

238 par des deutons. Ensuite, il a été fabriqué par kilos dans la pile Fermi. Il est le seul transuranien que l'on puisse obtenir en quantités importantes. Il a été trouvé dans la nature, dans les minerais de carnotite et de pechblende.

L'Américium et le Curium ont été également préparés par synthèse nucléaire, en 1946, par Seaborg. Ces deux corps, le Curium surtout, sont fortement radioactifs.

Le Berkélium a été obtenu, au début de 1950, au centre de Berkeley, en dirigeant sur l'Américium un flux d'hélions (noyaux d'Hélium) accélérés à l'aide du grand cyclotron. L'opération fut délicate et dangereuse à cause de l'intense radioactivité des éléments en jeu.

Le Californium, découvert le 18 mars 1950, est un résidu de la désintégration du Berkélium, à côté de l'Américium et de l'Hélium. Il a été aussi préparé à Berkeley, en bombardant le Curium par des hélions accélérés au cyclotron sur plus de 100 millions d'électron-volts. Son obtention fut extrêmement dangereuse. Le Californium est, en effet, formidablement radioactif.

Ce dernier élément semble marquer, pour un certain temps, tout au moins, la fin du tableau de Mendeleïeff (1). En effet, il paraît très difficile, dans l'état actuel de la technique nucléaire, d'engendrer l'élément 99. Pour l'obtenir, il faudrait bombarder le Berkélium par des hélions excessivement rapides. Or, on n'a préparé, jusqu'alors, que de très petites doses de Berkélium et, d'autre part, cet élément étant éminemment fissile, il sera toujours malaisé d'en fabriquer des quantités appréciables.

Au surplus, certaines considérations théoriques relatives à la stabilité du noyau, considérations que nous développerons en fin de paragraphe, montrent que l'existence d'un élément 99 est assez aléatoire.

La pile atomique ou le cyclotron ont également permis de préparer les éléments occupant, respectivement, les cases 43, 61 et 85. L'élément qui occupe la case 43 a été appelé Technetium pour rappeler que c'est le premier élément nouveau obtenu artificiellement. Celui qui se trouve dans la case 85 est l'Astato ou Astatine. C'est un halogène analogue au Chlore, au Brome, à l'Iode, mais il est radioactif et on ne lui connaît pas d'isotope stable. Quant à l'élément 61, après avoir été

(1) Les noms Berkélium et Californium étant provisoires, nous n'avons pas fait figurer leurs symboles (Bk et Cf) dans le tableau de Mendeleïeff.

d'abord appelé Illinium, il se nomme, définitivement, Prométhium (1).

Voyons, maintenant, comment les théories modernes relatives à la structure de l'atome permettent d'expliquer la périodicité des propriétés des éléments, révélée par la classification de Mendeleïeff.

On admet que l'atome comprend :

1° Un noyau central chargé d'électricité positive. Sa masse est pratiquement celle de l'atome.

2° Des électrons chargés d'électricité négative. Leur masse est très faible et négligeable devant celle de l'atome. Dans le cas de l'atome d'Hydrogène, le plus léger de tous, la masse de l'électron représente la $1/1830$ partie de la masse de l'atome. L'électron porte la plus petite charge d'électricité qui puisse exister à l'état libre. C'est la charge élémentaire; elle vaut 1.59×10^{-19} coulomb. On la représente par le symbole $-e$.

Les électrons gravitent autour du noyau, maintenus sur leur trajectoire par les forces électriques qui s'exercent entre leur charge négative et la charge positive nucléaire.

La charge totale des électrons étant égale, en valeur absolue, à la charge du noyau, l'atome est électriquement neutre.

Le noyau, lui-même, n'est pas simple. Il est formé de particules communes à tous les éléments. Ce sont :

1° Les Protons; ils portent une charge positive élémentaire opposée à l'électron, soit $+e$. Ils sont tous identiques au noyau de l'atome d'Hydrogène dont la masse constitue, en quelque sorte, la masse unité.

2° Les Neutrons. Ces particules sont électriquement neutres. Ils ont pratiquement même masse que les protons.

(1) L'élément 61 semblait avoir été découvert dans certains minerais, à l'aide de ses raies L en spectrographie X, par un professeur américain de l'Université d'Illinois, d'où le nom d'Illinium qui lui fut donné. Mais, en fait, la découverte et l'appellation ne furent jamais homologuées.

Heureusement d'ailleurs, car on obtint, par la suite, dans des expériences de transmutation, un élément 61 se décomposant en 6 isotopes, tous radioactifs et d'assez courte durée. L'un d'eux, qui a pour poids atomique 147 et une durée de 3,7 ans, correspond plus particulièrement à l'élément 61. Son poids atomique le place, en effet, exactement entre le Néodyme (masse atomique 144,27) et le Samarium (masse atomique 150,41).

Il s'avère certain, maintenant, que l'élément 61 n'existe pas dans la nature : il n'a pas, en effet, sa température de formation nucléaire est élevée (plusieurs dizaines de millions de degrés).

Par contre, les Américains l'extraient de la pile Fermi à raison de 26 grammes par kilogramme de Plutonium, ce qui n'est pas négligeable.

Certains auteurs pensent que neutron et proton ne sont pas, en réalité, deux corpuscules distincts, mais deux états différents d'une même particule, le nucléon, qui pourrait, ainsi, se présenter soit sous la forme neutre, soit sous la forme chargée.

Quelle que soit l'opinion que l'on ait sur la nature intime des constituants nucléaires, il n'en demeure pas moins que la charge positive du noyau est due aux seuls protons. Par contre, la masse de l'atome provient, à la fois, des protons et des neutrons (1).

Il résulte de ces considérations que la masse du noyau d'un élément chimique de masse atomique A est très approximativement égale à A fois la masse de l'atome d'Hydrogène. Nous retrouvons, là, l'ancienne hypothèse de Prout.

Si le noyau contient Z protons, il renferme nécessairement $A - Z$ neutrons. De plus, l'atome étant électriquement neutre, aux Z protons portant chacun une charge $+e$, correspondent Z électrons planétaires portant individuellement une charge $-e$.

Ce nombre Z , qui caractérise l'atome, s'appelle le *numéro atomique*.

Le numéro atomique apparaît, ainsi, comme le nombre de protons du noyau ou comme le nombre d'électrons de l'atome. C'est le numéro de la case dans laquelle est placé l'élément dans le tableau de Mendeleïeff. Il augmente d'une unité d'une case à la suivante.

Ainsi, l'Hydrogène, placé dans la case 1, a pour numéro atomique $Z = 1$. Cela signifie que son atome est formé d'un électron et d'un noyau porteur d'une seule charge positive.

(1) Le méson, dont il a été question aux § 1 et 3, n'existe pas, réellement, dans le noyau en tant que particule. Le noyau ne contient, en effet, que des protons et des neutrons. Cependant, le méson peut être créé dans les noyaux, lorsqu'une particule de très grande énergie vient les frapper; il résulte, alors, de la transformation de l'énergie en matière, conformément à la relation classique d'Einstein.

Le problème du méson est, en fait, celui du champ nucléaire. On ne peut pas envisager, par exemple, l'existence d'un champ électromagnétique soit pour unir un proton et un neutron, soit, à fortiori, pour unir deux neutrons, dont la charge est nulle, ou deux protons, que leur charge identique repousse.

C'est alors qu'en 1935, le physicien Yukawa introduisit, pour expliquer les réactions nucléaires, une *représentation du champ du noyau*, par l'intermédiaire d'un corpuscule dont la masse serait comprise entre celle de l'électron et celle du proton. Cette représentation est le méson ou électron lourd.

Les équations du méson furent imaginées et le méson fut ensuite découvert dans le rayonnement cosmique, puis mis en évidence, par Lattes, en 1946, dans le rayonnement du grand cyclotron de Berkeley.

L'Oxygène, qui occupe la huitième case, a pour numéro atomique $Z = 8$: son atome comprend 8 électrons et un noyau porteur de 8 charges positives. Le Fer, qui se trouve dans la vingt-sixième case, a pour numéro atomique $Z = 26$: l'atome de Fer comprend donc 26 électrons périphériques et un noyau porteur de 26 charges positives...

En outre, on convient que les électrons sont groupés en couches grossièrement superposées que l'on désigne par les lettres K, L, M, N, O, P, Q; les couches principales sont, elles-mêmes, subdivisées en sous-couches, s, p, d, f.

La couche K, la plus interne, est complète avec 2 électrons; la couche L, qui vient ensuite, l'est avec 8 électrons; la couche M, avec 18 électrons; la couche N, avec 32 électrons, etc..., mais certaines couches extrêmes peuvent commencer à se former avant que les couches sous-jacentes soient saturées (1).

La fig. 22 donne, à titre d'exemple, la représentation électronique schématisée des 18 premiers éléments.

L'Hydrogène a un seul électron planétaire et l'Hélium en a 2. La première couche K est complète avec 2 électrons. L'Hydrogène et l'Hélium constituent la première période. Avec le Lithium, qui commence la deuxième période, le troisième électron vient se placer sur la couche suivante L. Le Béryllium (2), qui suit, porte 2 électrons sur cette même couche, le Bore, 3 élec-

(1) Les couches K, L, M... ont été définies par l'étude des spectres X des éléments et la répartition des électrons dans les différentes couches a été déterminée en appliquant la théorie des quanta à l'émission des raies spectrales.

Les « modèles » d'atomes ainsi obtenus se sont montrés particulièrement féconds, puisqu'ils ont permis aux physiciens de calculer la fréquence des raies d'émission des rayons X, la diffraction de ces rayons, etc... et, aux chimistes, d'interpréter les propriétés périodiques des éléments.

Cependant, il convient de remarquer, d'une part, que les différentes couches électroniques représentent, simplement, des niveaux d'énergie et que, d'autre part, la répartition des électrons planétaires est purement schématisée et ne prétend pas correspondre à une disposition réelle; la science abandonnera ces schémas atomiques dès qu'ils seront dépassés par l'expérience.

Au reste, le jour semble proche où les explications relatives à la structure de l'atome s'exprimeront sans images, dans un langage où philosophes, mathématiciens et physiciens se comprendront enfin. Déjà, en mécanique ondulatoire, l'électron existe, en quelque sorte, à l'état potentiel dans tout l'intérieur de l'atome avec une probabilité plus ou moins grande de se manifester, ici ou là, sans qu'il soit possible de lui attribuer un mouvement orbital conforme aux représentations imagées de l'ancienne mécanique classique.

(2) Le Béryllium (Be), qui, naguère encore, s'appelait aussi Glucinium (Gl), se nomme maintenant exclusivement Béryllium (décision prise à Amsterdam en septembre 1940 par la Commission de nomenclature inorganique).

trons, le Carbone, 4, l'Azote, 5, l'Oxygène, 6, le Fluor, 7, et, enfin, le Néon, 8. La couche L se trouve alors saturée. Le Sodium, avec qui débute la troisième période, possède 11 électrons : 2 sur la couche K, 8 sur la couche L, qui sont saturées; le 11^e électron se place sur la couche M. Le Magnésium a 2 électrons sur cette couche, l'Aluminium, 3, et ainsi de suite, jusqu'à l'Argon, dont la couche M est complète avec 8 électrons.

On remarquera facilement, grâce à la disposition donnée au tableau, que les éléments des colonnes verticales portent, sur leur couche externe, le même nombre d'électrons.

Or, on admet que les éléments dont la couche périphérique contient le même nombre d'électrons présentent des propriétés très voisines.

Cette proposition constitue la clé de la classification de Mendeleïeff et permet d'expliquer la plupart des périodicités signalées au début de ce paragraphe.

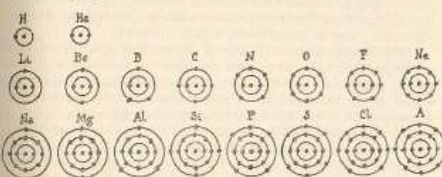


FIG. 22. — Répartition des électrons périphériques pour les atomes des 18 premiers éléments de la classification de Mendeleïeff.

de Mendeleïeff et permet d'expliquer la plupart des périodicités signalées au début de ce paragraphe.

Ainsi, les métaux alcalins de la colonne I, Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, Césium, possèdent des propriétés analogues, parce qu'ils ont tous un seul électron sur la couche périphérique. De même, les halogènes, Fluor, Chlore, Brome, Iode, de la colonne VII, ont des propriétés similaires, parce que leur couche extérieure est composée de 7 électrons. Des remarques identiques pourraient être faites en ce qui concerne les éléments des autres colonnes. Notons qu'une couche à 8 électrons forme une configuration stable, ce qui explique l'inertie chimique des gaz rares, le Néon, l'Argon, le Krypton, le Xénon, le Radon, dont l'orbite extérieure porte 8 électrons.

Les variations de l'électroaffinité des éléments peuvent également s'interpréter par la structure électronique de la couche externe et, accessoirement, par la conformation des couches sous-jacentes. Envisageons ce point.

De la colonne I à la colonne VII du tableau, le nombre d'électrons périphériques des éléments d'une même période croît de 1 à 7. Or, un atome a toujours tendance à prendre la configuration stable du gaz rare voisin (à 8 électrons périphériques), en perdant ou en captant des électrons.

Il s'ensuit que, plus faible est le nombre d'électrons externes, plus l'atome tend à libérer ses électrons en se transformant en ion positif et plus grand est son caractère électropositif. En effet, la charge du noyau croissant de la colonne I à la colonne VII, les électrons s'échappent d'autant plus facilement de l'atome que la charge du noyau est moins forte. D'où diminution du caractère électropositif des atomes d'une même période, quand on passe de la colonne I à la colonne VII.

Inversement, plus le nombre d'électrons périphériques d'un atome se rapproche de 8, plus cet atome a tendance à capter un ou plusieurs électrons, étant donné la forte attraction du noyau. D'où croissance du caractère électro négatif des atomes, à mesure que le nombre d'électrons externes augmente.

En règle générale, les atomes à couches internes normales possédant 1 ou 2 électrons périphériques sont fortement électropositifs (alcalins et alcalino-terreux) et les atomes à 6 ou 7 électrons périphériques sont fortement électro négatifs (groupe de l'Oxygène et halogènes).

Les éléments de la troisième colonne, qui ont 3 électrons sur l'orbite externe, sont faiblement électropositifs et ceux de la quatrième colonne, qui possèdent 4 électrons extérieurs, sont indifférents.

De plus, dans une même colonne, le caractère électropositif augmente avec le nombre d'électrons. Ainsi, le Béryllium (colonne II), qui possède deux électrons périphériques, est faiblement électropositif, alors que le Baryum, qui porte, également, deux électrons sur la couche externe, est fortement électropositif. Cette différence d'électropositivité résulte du fait que l'atome de Baryum est beaucoup plus compliqué que celui de Béryllium. Alors que ce dernier ne possède qu'une couche interne à deux électrons (couche K) et une couche externe à 2 électrons (couche L), le Baryum possède 5 couches internes à 2, 8, 18, 18, 8 électrons (couches K, L, M, N, O) et une couche

externe à 2 électrons (couche P). La distance, au centre, des électrons périphériques est donc, ici, beaucoup plus grande que dans le cas du Béryllium. Donc, la force attractive qui maintient les électrons périphériques sur leur orbite est plus faible pour le Baryum que pour le Béryllium, d'où une augmentation de l'électropositivité.

Ce fait est assez général : le caractère électropositif, c'est-à-dire le caractère métallique, augmente dans un même groupe avec le nombre atomique et, par conséquent, avec la masse atomique.

Enfin, l'affinité chimique des éléments entre eux peut être expliquée par la structure électronique.

Mettons, par exemple, du Calcium et du Chlore en présence. Le Calcium, fortement électropositif, s'unit au Chlore, fortement électro négatif, pour donner du Chlorure de Calcium. En s'unissant au Chlore, le Calcium perd 2 électrons périphériques et gagne, ainsi, deux charges positives. Chaque électron se fixe sur 1 atome de Chlore. Les ions Chlore et Calcium peuvent alors s'unir et donner une molécule neutre, le Chlorure de Calcium.

Considérons, maintenant, la structure du tableau dans ses détails. Nous constatons que, si les trois premières périodes s'étendent, chacune, sur une seule ligne, les trois suivantes se développent sur deux lignes et forment des sous-périodes qui, verticalement, correspondent à des sous-groupes.

Dans chaque sous-groupe vertical, la composition électronique de l'orbite externe est la même. Ainsi, dans la colonne I, le Lithium, le Sodium, le Potassium, le Rubidium, le Césium ont tous un seul électron périphérique, ainsi que nous l'avons fait remarquer. Le Cuivre, l'Argent et l'Or, de la même colonne I, ont, eux aussi, un électron sur l'orbite externe, mais, alors que les métaux alcalins, le Lithium excepté, ont 8 électrons sur l'avant-dernière couche, le Cuivre, l'Argent et l'Or en ont 18, ce qui fait que les propriétés de ces derniers éléments diffèrent de celles des alcalins. On pourrait faire des constatations analogues pour d'autres colonnes du tableau. En règle générale, les propriétés particulières des sous-groupes sont provoquées par le comblement dissemblable des couches électroniques sous-jacentes.

Une explication similaire peut être donnée pour interpréter les analogies chimiques des éléments d'une même pléiade comme celles du Fer (Fer, Cobalt, Nickel), du Ruthénium (Ruthénium, Rhodium, Palladium), etc. Les éléments de chacune de ces pléiades

des ne se distinguent, les uns des autres, que par le nombre des électrons sous-jacents; ils possèdent le même nombre d'électrons superficiels, 2, pour la pléiade Fer, et 1, pour la pléiade Ruthénium, sous la dépendance desquels sont les propriétés chimiques.

De même, le groupe des éléments des terres rares ou lanthanides (groupe III, 6 période) est formé de 15 éléments qui ont 2 électrons sur leur couche externe P, 9 électrons sur la couche O, et c'est seulement la couche N qui gagne un électron lorsqu'on passe de l'un des lanthanides au suivant. Cette couche porte, successivement, 18, 19, 20, 21, etc., jusqu'à 32 électrons, tandis que les deux couches externes continuent à n'en posséder que 2 et 9, d'où une famille d'éléments très homogène, nécessairement placée dans la même case du tableau.

On pourrait répéter un raisonnement identique à propos des actinides (groupe III, 7 période), dont le chef de file est l'Actinium. De plus, l'analogie de constitution électronique des lanthanides et des actinides permet de fixer la physionomie générale des transuraniens. A cet effet, on recherche, pour chaque transuranien, son correspondant direct dans la famille des terres rares et, selon le principe général d'homologie, on détermine ses propriétés chimiques probables.

Comme on le voit, le nombre atomique caractérise mieux l'élément que la masse atomique et c'est, en fait, ce nombre qui introduit une rythmicité dans les propriétés des éléments (1). La découverte des isotopes, dont nous allons dire quelques mots, est venue confirmer, d'une façon éclatante, ce point de vue.

L'analyse des éléments par les rayons positifs suivant la méthode d'Aston, a montré que la plupart des corps simples sont constitués par un mélange de deux ou plusieurs atomes auxquels on donne le nom d'isotopes, parce qu'ils occupent, évidemment, la même case dans le système périodique. Ces atomes ont des propriétés chimiques identiques et des masses atomiques voisines de nombres entiers (l'approximation est généralement supérieure à 1 pour 1.000).

Ainsi, le Néon, dont la masse atomique est 20,183, est formé d'un mélange de deux Néons, dont les masses respectives sont très près de 20 et 22. Le Chlore se montre constitué de 3 Chlo-

(1) C'est également la configuration électronique qui permet d'interpréter la périodicité relative au nombre d'éléments par période. Nous avons, en effet, indiqué que les 6 périodes renferment, respectivement, 2×1^2 , 2×2^2 , 2×3^2 , 2×4^2 , 2×5^2 , 2×6^2 éléments. Or, ces chiffres correspondent, précisément, au nombre d'électrons des couches K, L, M, N, lorsqu'elles sont saturées.

res de masses atomiques voisines de 35, 37, 39, alors que le Chlore des chimistes a pour masse atomique 35,457. Le Potassium est formé de trois espèces d'atomes. Le Plomb comprend 8 isotopes, l'Etain, 10, etc. Par contre, le Sodium a tous ses atomes identiques. Il en est de même de l'Arsenic. En moyenne, on observe qu'il y a, environ, trois isotopes par élément.

On sait, actuellement, que les isotopes d'un élément sont des atomes dont les noyaux contiennent le même nombre de protons associés à un nombre différent de neutrons.

Considérons, par exemple, l'Hydrogène des chimistes, de masse atomique 1,008. C'est un mélange d'Hydrogène léger ou Protium et d'Hydrogène lourd ou Deutérium (0,02 %). De plus, on prépare un Hydrogène super-lourd, radioactif, le Tritium.

Le Protium a sensiblement pour masse atomique 1; son noyau est formé d'un proton. Le Deutérium a très approximativement pour masse atomique 2; son noyau, le deuton, est formé d'un neutron et d'un proton. Le Tritium, dont la masse atomique est très voisine de 3, a un noyau, le triton, constitué de deux neutrons et d'un proton. Tous ces Hydrogènes ne possèdent qu'un électron périphérique et leur noyau, de masse différente, n'est porteur que d'une charge positive.

De même, tous les atomes de Fer contiennent 26 électrons périphériques, donc 26 protons dans le noyau, mais il existe des atomes de Fer à 30 neutrons et 26 protons et des atomes à 28 neutrons et 26 protons.

Il est clair que la notion d'isotopie lève l'objection relative aux inversions d'éléments (Arson placé avant Potassium, par exemple), objection faite, autrefois, à Mendeleïeff. Dans le même ordre d'idées, la notion de nombre atomique permet d'éliminer la plupart des griefs formulés, naguère encore, à l'égard de la classification.

Terminons cet examen de la classification périodique en nous demandant s'il est possible de préparer des éléments de nombre atomique supérieur à 98 et prolonger, ainsi, le tableau de Mendeleïeff.

En schématisant à l'extrême, on peut dire qu'il existe, dans le noyau de l'atome, deux sortes de forces, les forces nucléaires de liaison et les forces électriques de dispersion. Ces dernières croissent proportionnellement au carré du nombre des protons et, dans les gros noyaux, finissent par l'emporter sur les forces nucléaires; le noyau cesse, alors, d'exister. C'est ce qui a lieu

pour les noyaux comportant plus de 243 nucléons. Or, ce nombre est précisément atteint avec le Berkélium et le Californium.

Il en résulte que l'existence même d'éléments transcaliforniens est problématique. Si l'on parvient néanmoins à les obtenir, on peut prévoir que ces corps seront extraordinairement radioactifs et que leur vie moyenne sera très brève. Leur période tendra vers zéro. L'élément de période zéro terminera, alors, irrévocablement, le tableau de Mendeleïeff. Il jouera, en quelque sorte, en ce qui concerne les éléments, un rôle analogue à celui que joue, pour les fluides, la température critique.

26. Autres rythmes physico-chimiques

Beaucoup de réactions chimiques présentent une certaine périodicité. En voici quelques-unes qui ont ce caractère.

La dissolution des métaux dans les acides avec dégagement

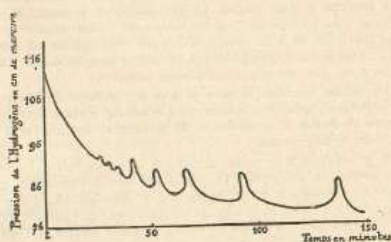


FIG. 23. — Périodicité de la dissolution de l'Aluminium dans l'acide Chlorhydrique normal à 35 degrés C. Enregistrement de la pression du gaz dégagé (d'après Hedges et Myers).

gazeux (qui sert généralement de test de mesure) peut, dans des conditions particulières, s'effectuer périodiquement. On l'observe dans l'action de l'acide azotique sur le Fer, de l'acide chlorhydrique sur le Chrome, le Fer, le Zinc, l'Aluminium (fig. 23), dans l'action de l'acide sulfurique sur le Zinc, le Magnésium, dans celle de l'acide orthophosphorique sur l'Aluminium, le Magnésium, etc.

On remarque, également, des périodicités dans la dissolution aqueuse du Calcium, des amalgames de Sodium et d'Aluminium, dans la dissolution du Magnésium et du Zinc dans le chlorure d'Aluminium, dans la dissolution de l'Aluminium dans le chlorure cuivrique, dans celle du Sodium dans les alcools éthylique et butylique.

Dans ces réactions, de multiples facteurs entrent en jeu : température, pureté du métal, présence de colloïdes, etc.

Un phénomène de nature très différente est fourni par la luminescence du Phosphore dans l'Oxygène. On sait que dans l'Oxygène pur et sec, à la pression atmosphérique ou à une pression supérieure, et à la température ordinaire, le Phosphore n'est pas luminescent. Si l'on diminue la pression, le phénomène apparaît à une pression bien déterminée, dite pression de luminescence, égale à 1/5 d'atmosphère, qui est la pression partielle de l'Oxygène dans l'air.

Or, si l'on raréfie suffisamment, la luminescence disparaît à un moment donné, mais réapparaît, ensuite, par abaissement de pression, avec des intermittences, avant de s'éteindre complètement.

La présence de traces de vapeur d'eau semble un facteur nécessaire aux intermittences de luminosité, car la lueur peut être stabilisée par simple dessiccation sur l'acide sulfurique.

De même, certains composés du Phosphore présentent le phénomène de luminescence périodique. C'est le cas, par exemple, pour l'oxyde phosphoreux, le sulfure phosphoreux, le trioxyde de phosphore.

En déshydratant progressivement l'acide borique ordinaire, on observe, aussi, un phénomène de phosphorescence périodique.

La luminescence se manifeste à partir de 70 degrés, s'accroît à mesure que le produit perd son eau, passe par un maximum, décroît rapidement, puis s'annule, dès l'obtention de l'anhydride borique.

Ces phénomènes de luminescence périodique que nous signalons à propos du phosphore et de l'acide borique ne doivent pas être rares.

On sait, maintenant, en effet, grâce à l'emploi de cellules photo-électriques, qu'un très grand nombre de réactions chimiques émettent un rayonnement ultra-violet. C'est le fait des réactions les plus banales, comme la salification d'un acide fort par une base forte, l'oxydation des sulfites par l'oxygène de l'air, celle des alcools par l'acide chromique, l'oxydation du

glucose par le permanganate, la décomposition de l'eau par les amalgames de sodium ou de potassium, la déshydratation de sels, la formation de cristaux, etc.

Or, il semble que, pour certaines de ces réactions, l'émission de photons de courtes longueurs d'onde soit rythmique (1).

D'autres réactions périodiques peuvent encore être citées : La stabilisation et la labilisation des colloïdes est périodique, selon la dose de savon ajoutée. Cette périodicité a été retrouvée sur des modèles organiques et inorganiques, naturels et de synthèse.

Des faits analogues ont été constatés sur les sérums que l'on peut considérer comme des colloïdes organiques; on devra donc tenir compte de ce phénomène dans les réactions de floculation utilisées dans le diagnostic de certains états pathologiques comme la syphilis, le cancer, la tuberculose.

De même, la floculation de quelques eaux minérales a lieu avec production de strates attestant un phénomène périodique.

On peut rapprocher de ce fait l'expérience bien connue des anneaux de Liesegang obtenus en faisant agir l'azotate d'argent sur la gélatine bichromatée ou, inversement, en déposant une goutte d'une solution de bichromate de potassium sur de la gélatine imprégnée d'azotate d'argent.

L'étude des formations de Liesegang a été reprise, récemment, par Mme Suzanne Weil qui a montré que la distribution

(1) Nous attirons l'attention des chimistes sur l'expérience suivante que nous avons imaginée, et décrite, pour la première fois, dans le *Magazine Scientifique* de mai 1932 : Verser, dans un tube à essai, 4 à 5 cm³ d'acide sulfurique concentré, puis de l'alcool éthylique absolu, en évitant de mélanger les deux liquides. Lorsque ceux-ci sont à l'état de repos, introduire dans le tube, suspendu à un fil, un gros cristal de permanganate de potassium; le descendre jusqu'à ce qu'il soit en contact avec l'acide. A ce moment, de l'oxygène ozonisé se dégase et, après quelques minutes, on peut constater qu'il se produit une multitude d'étincelles très brillantes, accompagnées de petites explosions. Bientôt, les étincelles deviennent plus abondantes, l'acide et l'alcool finissent par se mélanger et un véritable feu d'artifice illumine toute la masse. Les étincelles sont riches en ultra-violet, car elles semblent émettre une irradiation à travers le tube, ce qui indique qu'elles occasionnent une certaine fatigue de la rétine.

Si l'on se dispose que de fins cristaux de permanganate, on en fera tomber une pincée dans le tube et les mêmes phénomènes se développeront. Lorsque l'expérience arrivera à sa fin, on pourra faire jaillir de nouvelles étincelles en remuant le liquide avec un agitateur.

Cette curieuse expérience est complexe et n'a pas reçu, à notre connaissance, une explication entièrement satisfaisante. Ajoutons que l'alcool n'est pas indispensable à sa réalisation; on peut, en effet, le remplacer par l'éther ordinaire, l'acétone, etc. On peut même obtenir des étincelles avec l'acide seul, à condition qu'il soit très concentré et chaud.

Nous signalons, ici, cette expérience parce que le phénomène lumineux qu'elle engendre nous a paru présenter, parfois, une certaine périodicité, principalement quand la réaction s'achève.

des anneaux obéit à des lois générales tant spatiales que cinétiques.

Cet auteur a constaté, d'une part, qu'en fonction du numéro d'ordre des anneaux, les racines carrées des écarts interannulaires offrent une croissance sensiblement linéaire et que, d'autre part, la vitesse de progression des anneaux est une fonction linéaire de l'inverse de la racine carrée du temps écoulé.

Enfin, Mme Weil et quelques autres chimistes ont souligné que le précipité périodique de chromate d'argent n'est, en réalité, qu'un cas particulier de processus très communs en chimie et qu'il peut se retrouver dans les familles des métaux, Argent, Plomb, Baryum, Cuivre, Manganèse, Zinc, Cadmium, Cobalt, Thallium, Thorium, Éléments rares, ainsi que dans le chapitre des matières colorantes. Toutes les périodicités observées avec ces métaux obéissent aux lois de distribution précédemment énoncées.

Les phénomènes catalytiques accusent souvent, eux aussi, une certaine périodicité. Depuis longtemps déjà, Bredig a décrit la décomposition « pulsatile » de l'eau oxygénée en présence de Mercure jouant le rôle de catalyseur. C'est l'expérience du « cœur artificiel » que l'on peut, d'ailleurs, facilement réaliser : on place 3 cm³ de Mercure très propre au fond d'un tube à essai et on ajoute 6 cm³ d'eau oxygénée à environ 100 volumes. Le dégagement rythmique d'Oxygène commence généralement vers la douzième minute à 15° et on peut compter 17 soubresauts du liquide par minute. La réaction étant exothermique, la température s'élève ainsi que la fréquence pulsatoire, et, vers 53°, on compte une pulsation par seconde. Parallèlement, la surface du Mercure se recouvre périodiquement d'un film d'oxyde rouge, puis noirâtre.

On a montré, depuis peu, que ce phénomène est accompagné de changements rythmiques de la force électro-motrice dans la chaîne constituée et de variations périodiques de la tension superficielle du mercure.

On a vu également que le phénomène est accentué lorsque l'eau oxygénée a un P_H voisin de 7; il est donc recommandé d'alcaliniser légèrement l'eau oxygénée du commerce dont le P_H est toujours inférieur à 7.

Le Mercure n'est d'ailleurs pas indispensable et on peut le remplacer par d'autres catalyseurs : Argent et Platine colloïdaux, Argent réduit par le sulfate d'hydrazine, amalgame de Sodium, amalgame de Magnésium (fig. 24), acide iodique en présence d'acide sulfurique (fig. 25), etc.

En d'autres circonstances, l'Aluminium, le Platine, l'Argent divisés agissent périodiquement comme catalyseurs; le Cuivre en poudre accuse également des variations de ses propriétés catalytiques selon la température à laquelle la réduction a été opérée.

Les diastases qui se rattachent aux catalyseurs ont souvent

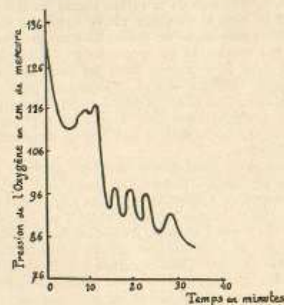


FIG. 24. — Décomposition périodique de l'eau oxygénée par l'amalgame de magnésium. Enregistrement de la pression de l'Oxygène dégagé (d'après Hedges et Myers).

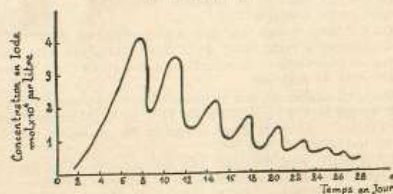


FIG. 25. — Addition d'acide iodique à l'eau oxygénée en présence d'acide sulfurique. Libération périodique d'iode (d'après Bray).

une activité rythmique. Ainsi, d'après Groll, l'hydrolyse de l'Urée est périodique en fonction de l'âge de l'Uréase; il en est de même pour la Lipase, pour l'Amylase, pour la fermentation lactique.

Dans le même ordre d'idées, Charles Richet montra qu'un grand nombre de sels, sels de Baryum, de Thorium, de Platine, de Cobalt, de Manganèse, de Lithium, etc., ainsi que l'eau de mer, employés soit à doses moyennes, soit à doses infinitésimales, agissaient périodiquement sur la fermentation lactique du glucose (fig. 26).

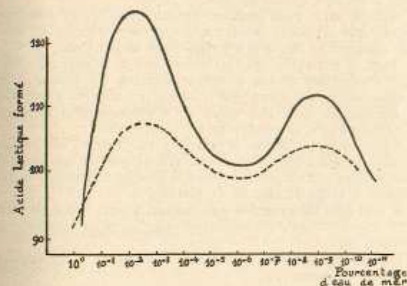


FIG. 26. — Action de l'eau de mer à doses minuscules. — Eau de mer naturelle. - - - Eau de mer artificielle. (D'après Charles Richet.)

Les courbes obtenues en portant en abscisses les pourcentages d'eau de mer, par exemple, et en ordonnées les proportions d'acide lactique formé présentent deux maxima, l'un qui correspond à l'addition de 10^{-3} de solution, et l'autre, à 10^{-9} ou 10^{-10} , ces dernières doses étant infinitésimales. Les deux minima ont lieu pour les concentrations 5×10^{-4} et 10^{-6} . Les solutions étudiées agissent donc rythmiquement sur l'activité du ferment lactique.

En dehors de cette constatation, soulignons que de telles expériences apportent un sérieux argument en faveur de l'h-

méopaths. Elles nous suggèrent, d'autre part, que les homéopathes devraient rechercher, pour chaque médicament, la meilleure dilution à employer, et ne pas s'en tenir automatiquement aux 6^e, 30^e, 200^e dilutions comme ils le font habituellement, car, pour une dilution déterminée, certains médicaments peuvent présenter une activité minimum ou nulle, et d'autres, une activité maximum. Les expériences devraient porter sur des organismes inférieurs qui se révèlent très sensibles, et comporter des dosages. Il est clair, en effet, que les pathogénésies faites sur l'Homme présentent un élément subjectif important qui en diminue la valeur.

Notons, enfin, pour terminer l'examen des périodicités chimiques, que certaines réactions, d'apparence homogène, donnent quelquefois lieu à des phénomènes oscillatoires.

Ainsi, le gaz carbonique est susceptible de se dégager d'une façon discontinue de ses solutions saturées. En réduisant la pression au-dessus d'une telle solution, on observe un départ intermittent de gaz. Des séries de bouillonnements violents, suivis d'accalmie, se produisent successivement.

En préparant l'oxyde de carbone par l'action de l'acide sulfurique sur l'acide formique, on obtient, parfois, un dégagement gazeux périodique. La présence d'impuretés paraît indispensable à la production de la périodicité.

A vrai dire, les exemples appartenant à cette catégorie sont rares et ont été peu étudiés, aussi, nous nous en tiendrons à ces deux cas.

Il reste maintenant à nous demander quel est le mécanisme des rythmes chimiques.

Différentes hypothèses ont été proposées, mais aucune ne nous semble satisfaisante. Citons-les pour mémoire.

En ce qui concerne les périodicités spécifiquement cinétiques, il semble qu'il faille s'en tenir à des explications se rapportant à chaque cas particulier. Ainsi, dans le phénomène de Bredig, Antropoff fait jouer un rôle essentiel à la pellicule d'oxyde de mercure qui se forme et se détruit périodiquement; de même, les intermittences de luminosité du Phosphore seraient dues à la rupture périodique d'une pellicule d'oxyde instable. Dans d'autres réactions, on a cherché à faire intervenir des réactions intermédiaires. Ailleurs, on a invoqué des variations de valence, etc... Quoi qu'il en soit, on peut dire que, pour le moment, aucune explication n'est entièrement satisfaisante et on a même l'impression que les auteurs prennent parfois des effets secondaires pour des causes premières.

Ajoutons que Lotka et quelques autres physiciens ont essayé de donner une théorie mathématique des phénomènes de catalyse périodique.

Les périodicités de précipitation ont également suscité de nombreuses hypothèses explicatives.

Ostwald fait intervenir la valeur oscillatoire de la vitesse de formation des germes cristallins. On sait, en effet, que cette vitesse est très faible au-dessous d'une certaine concentration et qu'elle croît rapidement au voisinage de la saturation. Mais cette conception se heurte à un certain nombre de faits. Ainsi, lorsque, sur une couche de gélatine, ayant déjà donné des productions périodiques, on fait tomber quelques gouttes d'un réactif flocculant, les nouveaux anneaux se forment, parfois, non sur les anneaux primitifs (ce que l'on devrait observer dans l'hypothèse d'Ostwald), mais entre les anneaux déjà existants, précisément là où la concentration est faible.

Délaissant la vitesse de formation des germes cristallins, Bradford invoque l'adsorption comme cause essentielle des phénomènes de précipitation périodique. D'après cet auteur, il se forme au contact des deux réactifs un composé d'adsorption; la concentration de l'un ou des deux réactifs est alors trop faible pour provoquer la flocculation qui ne peut, dès lors, se produire qu'à une certaine distance, d'où précipité périodique.

Enfin, au cours de ces dernières années, des interprétations rentrant dans le cadre des théories de Louis de Broglie ont été soutenues. Le mouvement moyen des particules diffusantes de masse m serait exprimé par l'équation :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

dans laquelle λ désigne la distance des anneaux successifs, v la vitesse de diffusion et h la constante de Planck.

Il est à remarquer que ces diverses interprétations sont très générales et font abstraction des individus chimiques mis en jeu.

CHAPITRE IV

RYTHMES VITAUX

Nous groupons, sous ce titre, un certain nombre de rythmes vitaux qui ne semblent pas dépendre de rythmes physiques extérieurs.

Il est difficile, en principe, d'affirmer qu'un rythme vital est indépendant de tout phénomène physique extrinsèque. D'abord, nous ne connaissons pas tous les rythmes physiques, et, de plus, en vertu des phénomènes de rémanence ou d'induction déjà signalés, certains rythmes vitaux, actuellement indépendants, ont pu être provoqués par des rythmes physiques maintenant éteints.

Cette double réserve faite, nous étudierons les rythmes vitaux ou, plutôt, quelques-uns d'entre eux, après les avoir classés en deux groupes : les rythmes statiques ou morphologiques (auxquels nous rattachons les rythmes héréditaires) et les rythmes dynamiques. En fait, la distinction que nous proposons, ici, est plus artificielle que réelle, car les rythmes que nous appelons statiques sont l'expression de rythmes dynamiques rendus sensibles, matérialisés en quelque sorte dans la forme qu'ils ont modelée.

27. Rythmes morphologiques

Il faudrait passer en revue toute la morphologie végétale et animale, toutes les structures (macro et microscopiques) pour ne pas commettre d'omissions dans cette étude particulière. La plupart des formes et des structures montrent, en effet, que l'activité vitale qui les a édifiées n'a pas agi d'une façon continue, mais selon un rythme parfois compliqué. Ainsi, dans le règne végétal, la disposition des branches, des racines, celle des feuilles surtout, impliquent l'existence de forces rythmiques.

Considérons les rameaux à feuilles alternes largement espacées; nous constatons que les feuilles sont disposées selon une

hélice unique et continue, de façon que de chacune d'elles à la suivante il y ait une fraction déterminée de tour (fig. 27). Cette fraction est appelée divergence de deux feuilles consécutives. Pour l'Orme, la divergence est $1/2$ tour, pour le Bouleau, l'Aulne, $1/3$ de tour; la divergence $2/5$ est très fréquente (Chêne, Cerisier, Prunier, Pêcher, Pommier).

La même règle s'applique aux tiges à feuilles alternes très rapprochées (Poireau, Oignon, Artichaut, par exemple), mais, dans ce cas, il est difficile de suivre la spire.

Les bourgeons (yeux) de la Pommier de terre, qui est une tige souterraine, sont également placés suivant une ligne hélicoïdale (fig. 28).

Quand les feuilles sont opposées et verticillées, elles sont généralement insérées sur la tige selon la loi suivante :

1° Dans chaque verticille, les feuilles sont équidistantes les unes des autres, diamétralement opposées s'il y en a deux, à $1/3$ de tour s'il y en a trois, etc.;

2° Les feuilles d'un verticille alternent avec celles du précédent, c'est-à-dire sont superposées aux intervalles.

Cette disposition des feuilles montre, indubitablement, que la prolifération cellulaire foliaire a été incitée rythmiquement à mesure du développement des tiges.

Des remarques analogues pourraient être faites à propos des organes floraux, sépales, pétales, étamines, carpelles.

L'étude des structures végétales est plus significative encore. Nos lecteurs voudront bien se reporter aux schémas qui se trouvent dans les manuels de botanique, même élémentaires. Ils verront que les structures primaire et secondaire de la tige et de la racine, que les structures de la feuille, des tissus, des cellules même, impliquent l'existence de forces constructives agissant rythmiquement.

Enfin, la reproduction chez les végétaux, et surtout chez

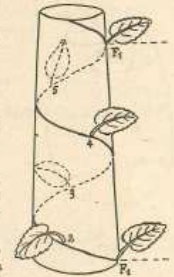


FIG. 27. — Cycle d'insertion des feuilles isolées. Ex. : Cerisier, cycle : $2/5$.

les végétaux inférieurs, est, au point de vue qui nous occupe, fort démonstrative.

Voyons, par exemple, la reproduction du Champignon de couche (*Psalliota campestris*).

Le chapeau pédonculé qui constitue la partie comestible est l'appareil reproducteur du végétal. Epanoui, ce chapeau laisse voir à sa surface inférieure des lamelles brunâtres. Ces lamelles portent des spores qui, en germant sur terre, donneront naissance à de nombreux filaments blancs, le mycélium, sur lequel apparaîtront les chapeaux.

Ainsi, au cours de son développement, le Champignon de couche passe successivement par les formes suivantes : spore, mycélium, chapeau pédonculé (fig. 29). Le rythme morphologique est évident.

Dans tout le groupe des Champignons, il en est de même. Chez les Algues, les Mousses, les

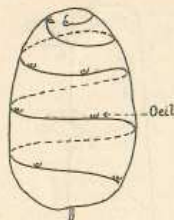


FIG. 28. — Pomme de terre. Insertion des bourgeons (yeux) suivant une hélice.

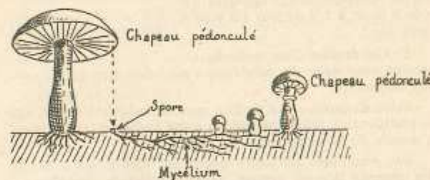


FIG. 29. — Développement du Champignon de couche.

Fougères, les Prêles, les Lycopodes, le rythme reproductif est plus compliqué.

Chez les Fougères, par exemple, nous avons la succession des formes : spore, prothalle, anthéridies et archégones, gamètes, œufs, Fougère feuillée, et le cycle recommence (fig. 30).

Chez les végétaux supérieurs, Gymnospermes et Angio-

spermes, le rythme de développement se déduit du précédent et s'apparente à celui des animaux.

Quelles que soient, d'ailleurs, les apparences extérieures, on peut généralement distinguer, dans le cycle de la reproduction des végétaux, une alternance de formes constituant, chacune, un tronçon du développement. Le tronçon asexué à $2n$ chromosomes est le sporophyte (par exemple, la plante feuillée chez les Fougères); il donne les spores; le tronçon sexué à n chromosomes forme le gamétophyte (le prothalle des Fougères, par exemple); il produit les gamètes. Comme nous l'avons dit, ces deux tronçons alternent.

En règle générale, dans l'embranchement des Cryptogames vasculaires (Fougères, Prêles, Lycopodes), le sporophyte l'em-

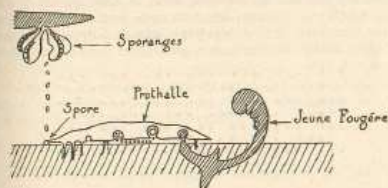


FIG. 30. — Développement d'une Fougère.

porte, en durée et développement, sur le gamétophyte. Par contre, dans l'embranchement des Muscinées, le gamétophyte est plus important que le sporophyte.

Chez les Algues et les Champignons, l'importance relative des deux tronçons varie avec les genres.

Enfin, à mesure que l'on remonte dans la série végétale, des Fougères aux Angiospermes, en passant par les Prêles, les Sélaginelles et les Gymnospermes, on constate une réduction progressive du gamétophyte.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces données classiques qui sont développées dans les ouvrages de botanique.

Dans le règne animal, l'étude minutieuse de la forme des Coraux, des Echinodermes, des Coelentérés, conduit à penser que les forces protoplasmiques qui édifient ces êtres sont rythmiques; on peut les voir agissantes en embryogénie. Dans

le développement spiral des Mollusques, l'existence de telles forces est manifeste.

Chez les animaux supérieurs, on retrouve ces mêmes forces rythmiques; elles agissent même dans le détail de leur organisation: structure des poils, des dents, des ongles, des griffes, des écailles, des plumes, revêtement des ailes des Papillons, couleurs des Poissons, pelage des animaux (Zèbres), organisation des Vers, des Serpents et même des Vertébrés supérieurs. Signalons, ici, une particularité peu connue: les poils des Mammifères ne sont pas placés sans ordre dans la peau, mais insérés, trois par trois, ou cinq par cinq et en quinconce (fig. 31).

L'alternance de formes que nous avons constatée chez les végétaux inférieurs se retrouve dans le développement d'un grand nombre d'animaux. Ainsi, le cycle évolutif de certaines Hydres comprend deux générations, une de polypes fixés dominant, par bourgeonnement, une génération de méduses libres



FIG. 31. — Disposition des poils chez les Mammifères.

qui, à leur tour, reproduisent par voie sexuée une génération de polypes. Certains Vers marins (Myrianide) présentent un développement analogue: de l'œuf naît un individu qui reste toujours asexué, mais qui produit, par bourgeonnement, d'autres individus, sexués ceux-là, et fort différents du premier; ces individus s'accouplent, donnent des œufs et le cycle continue.

Ailleurs (Néréis), le processus est plus complexe.

Les parasites présentent toujours des formes spéciales en rapport avec les conditions particulières de vie sur l'hôte; chez la plupart d'entre eux, le cycle évolutif, malgré les complications apparentes, se réduit à une alternance de formes sexuées et asexuées.

Enfin, chez les microorganismes et, particulièrement, chez les Bactéries, on tend à admettre, de plus en plus (Fontès, Dr Vaudremer, Dr Hauduroy, Prof. Bezançon, Prof. Calmette, etc.), l'existence de phases invisibles de développement (formes

filtrantes) qui s'intercaleraient entre les phases visibles jusqu'alors seules étudiées (1).

28. Le rythme dans l'hérédité

Les lois de Mendel

Les phénomènes héréditaires dont le déterminisme reste encore mystérieux obéissent, cependant, à des lois précises de nature nettement périodique.

Ces lois ont été découvertes, vers 1866, par le moine autrichien Grégor Mendel du couvent de Brno (Brünn), en Moravie, et, à peu près simultanément, par Charles Naudin, aide naturaliste au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Longtemps méconnues, elles furent redécouvertes par les botanistes de Vries, Correw et Tschermak. Appliquées d'abord aux végétaux, elles ont été ensuite étendues aux animaux, notamment par Cuénot en France et par les généticiens américains, en tête desquels il convient de placer Morgan et son école.

Les lois de Mendel ont trait à la transmission des caractères héréditaires. Voyons-les à partir d'exemples pris chez les végétaux et chez les animaux.

PREMIERE LOI DE MENDEL

LOI DE LA DISJONCTION DES CARACTERES

Exemple en botanique. — Prenons deux variétés de *Belle-de-Nuit* (*Mirabilis jalapa*), qui ne diffèrent entre elles que par un seul caractère; l'une a des fleurs rouges et l'autre des fleurs blanches.

Assurons-nous, d'abord, que ces variétés sont de races pures. A cet effet, croisons entre elles des variétés à fleurs rouges, d'une part, et des variétés à fleurs blanches, d'autre part. Dans le premier cas, on a indéfiniment des variétés à

(1) Cette opinion est combattue par Mlle Choucrum. Cet auteur a montré que le filtrat provenant d'une culture du bacille de Koch renfermait quelques-uns de ces microorganismes. C'est pour cette raison que le filtrat tuberculeux le Cobaye et non pas parce qu'il contiendrait, comme on l'a supposé, des formes filtrantes invisibles. Les bacilles que l'on trouve dans le filtrat passent à travers les filtres parce que moins fortement chargés d'électricité négative que les bacilles normaux. Comme ils sont en très petit nombre, ils échappent aux recherches faites suivant les techniques habituelles. Cependant, on peut les retrouver en les soumettant à un champ électrique; ils se rassemblent autour du pôle positif.

Ajoutons qu'il est présentement difficile de dire si ces résultats peuvent s'appliquer à tous les microorganismes.

fleurs rouges et, dans le second, des variétés à fleurs blanches. Ce sont donc bien des races pures.

Cela étant, croisons une *Belle-de-Nuit* à fleurs blanches avec une *Belle-de-Nuit* à fleurs rouges (fig. 32). On a :

Parents P = *Belle-de-Nuit* blanche × *Belle-de-Nuit* rouge.

Nous constatons que tous les sujets de la première génération (génération fille, F1) possèdent des fleurs à pétales roses, de teinte en somme intermédiaire entre celles des parents. Ce sont des hybrides. Nous écrivons, par conséquent :

Génération fille F1 = *Belles-de-Nuit* roses.

Croisons ces hybrides entre eux. Allons-nous obtenir une

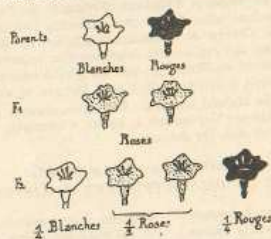


FIG. 32. — Croisement entre *Belles-de-Nuit* blanches et *Belles-de-Nuit* rouges.

deuxième génération (génération petite-fille F2) composée d'individus tous identiques à leurs parents, c'est-à-dire pourvus de fleurs roses? Nullement! Si l'expérience porte sur un nombre suffisamment élevé de plantes, de manière que les résultats aient une signification statistique, ou, en d'autres termes, si l'on permet au hasard de développer toutes ses possibilités, on constate ce qui suit : Certaines plantes de cette génération F2 sont à fleurs roses, d'autres à fleurs rouges, identiques à celles des parents P, et, enfin, d'autres à fleurs blanches identiques également à celles de ces mêmes parents P, et cela dans une proportion définie. On trouve, en effet :

Génération F2 = 1/4 plantes blanches + 1/2 plantes roses + 1/4 plantes rouges.

Il y a donc un retour vers les caractères parentaux. La disparition du caractère fleur blanche ou fleur rouge n'était donc qu'apparente dans la première génération d'hybrides, puisque ce caractère réapparaît dans la deuxième.

Enfin, si nous croisons les individus F2 à fleurs blanches entre eux, les individus F2 à fleurs roses ensemble, nous obtenons, à la troisième génération F3, les résultats suivants : la descendance des F2 à fleurs blanches est exclusivement composée de plantes F3 à fleurs blanches; de même, la descendance des F2 à fleurs rouges ne comprend que des individus à fleurs rouges; quant à la descendance des F2 à fleurs roses, elle est la même que celle des hybrides F1 : elle comprend 1/4 de plantes à fleurs blanches, 1/2 de plantes à fleurs roses, 1/4 de plantes à fleurs rouges. Et il en est toujours ainsi à toutes les générations suivantes. Ce qui est remarquable, c'est que les descendants de plantes à fleurs blanches ou à fleurs rouges restent désormais identiques à eux-mêmes; ces plantes ont définitivement fait retour au type des parents.

D'où la première loi de Mendel ou loi de disjonction des caractères, que nous énonçons ainsi :

Dans les produits de croisement des hybrides, on obtient des individus qui font retour aux caractères des parents de ces hybrides; il y a donc disjonction des caractères hybrides. Ce retour se produit suivant une proportion définie, à condition que l'expérience porte sur un grand nombre d'individus afin que les lois statistiques aient un sens.

Exemple en Zoologie. — Les Poules andalouses (poules et coqs) comprennent des Poules blanches tachetées, des Poules noires et des Poules bleues, que nous appellerons plus particulièrement sujets andalous. La couleur bleue résulte de la juxtaposition, en une mosaïque très fine, de taches blanches et noires.

On peut constater, au préalable, comme nous l'avons fait pour les *Belles-de-Nuit*, que les Poules blanches et les Poules noires sont de races pures.

Croisons un Coq blanc avec une Poule noire (fig. 33).

On a :

Parents P = Coq blanc × Poule noire.

La génération fille F1 issue de ce croisement ne comprend

que des sujets andalous, au plumage bleu; ce sont des hybrides; on a :

Génération fille F1 = Sujets andalous.

Croisons entre eux ces Coqs et ces Poules de la première génération; nous aurons une seconde génération, la génération petite-fille F2, dont les sujets sont, les uns blancs, les autres

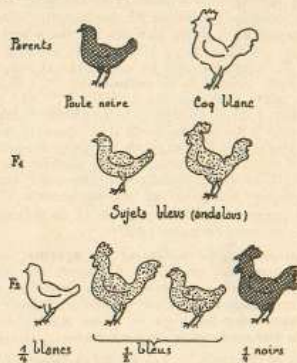


FIG. 33. — Croisement de Poules andalouses.

noirs, et, enfin, un certain nombre andalous. Si l'expérience porte sur un grand nombre d'individus, on trouve :

Génération F2 = $\frac{1}{4}$ Poules et Coqs blancs + $\frac{1}{2}$ Poules et Coqs andalous + $\frac{1}{4}$ Poules et Coqs noirs.

Enfin, comme dans l'expérience réalisée avec les Belles-de-nuit, si l'on croise ensemble les Poules et les Coqs blancs, on n'obtient que des descendants blancs; de même avec les sujets noirs; par contre, les andalous donneront, à nouveau, $\frac{1}{4}$ de sujets blancs, $\frac{1}{2}$ d'andalous, $\frac{1}{4}$ de sujets noirs.

La première loi de Mendel s'applique donc encore ici.

DEUXIÈME LOI DE MENDEL LOI DE LA DOMINANCE

Exemple en botanique. — Prenons des Pois à graines ridées et des Pois à graines lisses (*Pisum sativum*) et assurons-nous que ce sont des races pures en croisant entre elles les variétés à graines ridées, d'une part, et les variétés à graines lisses, d'autre part.

Croisons, ensuite, les Pois à graines lisses avec les Pois à graines ridées (fig. 34). On a :

Parents P = Pois à graines lisses × Pois à graines ridées.

Or, contrairement à ce que les expériences précédentes pourraient nous faire supposer, nous n'obtenons pas, en première génération, des Pois à graines mi-lisses, mi-ridées, mais des Pois à graines lisses.

On a :

Génération fille F1 = Pois à graines lisses.

Dans ces conditions, on peut se demander si le caractère ridé n'a pas disparu.

L'expérience permet de répondre à cette question.

Croisons les Pois à graines lisses F1. Si l'expérience porte sur un grand nombre de plants, nous obtenons $\frac{3}{4}$ de Pois à graines lisses, et $\frac{1}{4}$ de Pois à graines ridées.

On a donc :

Génération F2 = $\frac{3}{4}$ Pois à graines lisses + $\frac{1}{4}$ Pois à graines ridées.

Le caractère ridé n'était donc pas disparu en F1; ces Pois F1 sont des hybrides; d'autre part, l'expérience montre que les Pois ridés F2 sont de race pure.

Voyons, maintenant, par le croisement, si les $\frac{3}{4}$ de Pois à graines lisses F2 sont tous de race pure. On constate qu'il n'en est rien et que sur trois de ces Pois, un est de race pure et deux sont des hybrides, lesquels se comportent, par la suite, comme les Pois F1.

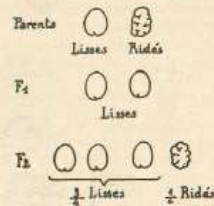


FIG. 34. — Croisement de Pois à graines lisses avec des Pois à graines ridées.

Ces résultats, en apparence surprenants, s'expliquent très bien si l'on admet que le caractère lisse masque le caractère ridé, ce que l'on exprime en disant que le caractère lisse est *dominant* et le caractère ridé dominé ou *récessif*.

En F₁, par exemple, les deux caractères sont réunis, mais comme le caractère ridé est dominé, il n'apparaît pas. Seul, le caractère lisse s'exprime.

Cette deuxième loi de Mendel est la loi de la dominance.

Exemples en Zoologie. — Nous prendrons deux exemples, l'un tiré des travaux de Cuenot sur les Souris et, l'autre, emprunté aux recherches de l'Ecole américaine de Morgan sur les Drosophiles.

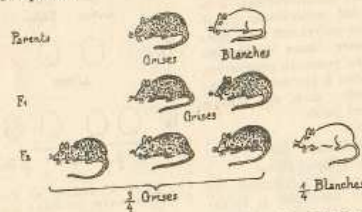


FIG. 35. — Croisement entre Souris grises et Souris blanches.

1^{er} exemple. — Croisement des Souris grises avec des Souris blanches.

Croisons une Souris grise (race pure) avec une Souris blanche (race pure) (fig. 35). On a :

Parents P = Souris grise × Souris blanche.

Nous obtenons, uniquement, des Souris grises.

On a donc :

Génération fille F₁ = Souris grises.

Demandons-nous, comme dans l'exemple précédent, si le caractère blanc a disparu. A cet effet, croisons entre elles ces Souris grises F₁. On obtient $\frac{3}{4}$ Souris grises + $\frac{1}{4}$ Souris blanches. Ces Souris blanches sont de race pure, car leur descendance est uniquement blanche.

On a :

Génération F₂ = $\frac{3}{4}$ Souris grises + $\frac{1}{4}$ Souris blanches (race pure).

Croisons, maintenant, ces Souris grises F₂. Nous constatons, par leur descendance, qu'une sur trois de ces Souris est de race pure et que deux sur trois sont des hybrides qui, par la suite, se comporteront comme les F₁ grises.

Les Souris grises F₁ et certaines F₂ grises étaient donc des hybrides. Nous dirons que le caractère gris est *dominant* et le caractère blanc, dominé ou *récessif*. En F₁, le caractère blanc est dominé par le caractère gris et celui-ci apparaît seul.

2^e exemple. — Croisement des Drosophiles.

Les généticiens américains avec Morgan et ses élèves ont fait des recherches admirables de patience, de minutie et de précision sur des petites mouches, les *Drosophiles*, vulgairement appelées « Mouches du vinaigre » ou « Mouches des vendanges ». Ces Mouches comptent de nombreuses races, 400 environ, elles sont faciles à élever et se reproduisent avec une extrême rapidité. A cause de la brièveté de leur vie et du grand nombre de générations qu'elles permettent de suivre, elles constituent un matériel de choix pour les travaux sur l'hérédité. Parmi leurs races variées, il en est qui se caractérisent par la longueur de leurs ailes, longues chez l'un des parents et courtes chez l'autre; ces ailes courtes sont généralement appelées *vestigiales*. Les Mouches à ailes longues sont représentées par le symbole LL et les Mouches à ailes vestigiales par le symbole vv.

Croisons des *Drosophiles* de race pure, dont les unes sont à ailes longues et les autres à ailes vestigiales (fig. 36). On a :

Parents P = *Drosophiles* à ailes longues × *Drosophiles* à ailes vestigiales.

Nous obtenons, uniquement, des *Drosophiles* à ailes longues.

Nous avons, par conséquent :

Génération fille F₁ = *Drosophiles* à ailes longues.

Le caractère ailes vestigiales semble avoir disparu. Mais ce n'est là qu'une apparence. Croisons, en effet, les Mouches F₁. On a :

Génération F₂ = $\frac{3}{4}$ *Drosophiles* à ailes longues + $\frac{1}{4}$ *Drosophiles* à ailes vestigiales.

Le caractère vestigial n'était donc pas disparu, mais, étant récessif par rapport au caractère ailes longues qui est dominant, il n'a pu s'exprimer. On verrait, comme dans les exemples précédents, que, sur les 3/4 de Drosophiles à ailes longues, il y en a une sur trois de race pure et deux sur trois hybrides.

Il est à noter que la dominance d'un caractère sur l'autre peut être modifiée dans certains cas avec les conditions extérieures. Ainsi, le croisement entre Mufliers rouges et blancs (Gueules de Loup) donne des hybrides rouges si les plantes sont cultivées à la lumière et à une température relativement

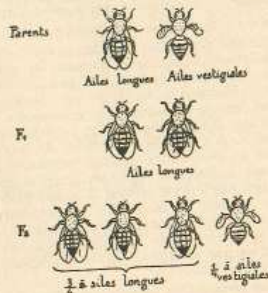


FIG. 36. — Croisement entre Drosophiles à ailes longues et Drosophiles à ailes vestigiales.

basse, et des hybrides blancs si la culture a lieu à l'ombre et à la chaleur.

TROISIÈME LOI DE MENDEL

Nous n'avons étudié, jusqu'alors, que des exemples où les parents ne différaient que par un seul caractère; on dit que les hybrides qui résultent de leurs croisements sont des monohybrides et que les cas envisagés se rapportent au monohybridisme. Mais il arrive, souvent, que les parents diffèrent entre eux par 2, 3, 4, ..., n caractères. On dit que les hybrides sont des polyhybrides et que les cas étudiés appartiennent au

polyhybridisme. Voyons, ici, des exemples relativement simples où les parents ne sont opposés que par deux caractères seulement, c'est-à-dire des cas de dihybridisme.

Exemple en botanique. — Prenons des Pois à graines lisses et jaunes et des Pois à graines ridées et vertes. Croisons-les. Nous avons (fig. 37) :

Parents P = Pois lisses et jaunes $\times$ Pois ridés et verts.
Les hybrides F₁ résultant de ce croisement ont des graines

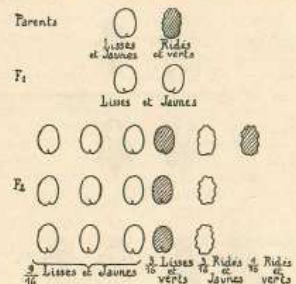


FIG. 37. — Croisement de Pois à graines lisses et jaunes avec des Pois à graines ridées et vertes.

lisses et jaunes. Ce double caractère est donc dominant et les caractères ridé et vert, récessifs. On a :

Génération F₁ = Pois lisses et jaunes.

Croisons, entre eux, les Pois provenant de la germination des graines de F₁; nous obtenons des hybrides F₂ qui se décomposent comme suit :

Génération F₂ :

- 9/16 ont des graines lisses et jaunes;
- 3/16 ont des graines lisses et vertes;
- 3/16 ont des graines ridées et jaunes;
- 1/16 ont des graines ridées et vertes.

Nous constatons, par conséquent, que, parmi les hybrides F₂, on trouve :

des individus ayant les caractères parentaux (1^{re} loi de Mendel);
des individus possédant un caractère d'un parent et un caractère de l'autre.

Il y a donc *disjonction des caractères hybrides et transmission indépendante de ceux-ci*. C'est là la troisième loi de Mendel.

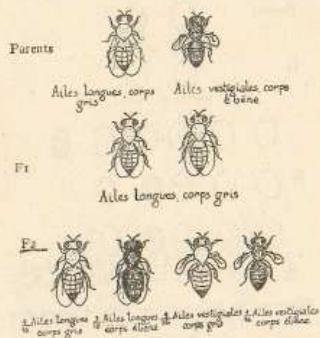


FIG. 38. — Croisement entre *Drosophiles* à ailes longues et corps gris et *Drosophiles* à ailes vestigiales et corps noir ébène.

Exemple en Zoologie. — Recourons, cette fois encore, aux si commodes *Drosophiles*. Nous prendrons, ici, des *Drosophiles* à ailes longues et à corps gris et des *Drosophiles* à ailes vestigiales et à corps ébène (fig. 38).

Croisons-les. On a :

Parents P = *Drosophiles* à ailes longues et à corps gris
× *Drosophiles* à ailes vestigiales et à corps ébène.

Les hybrides F₁ sont tous à ailes longues et à corps gris.

ce qui montre que le caractère corps ébène est récessif et que le caractère corps gris est dominant; nous savions déjà que le caractère vestigial était récessif et le caractère ailes longues dominant. On a :

Génération F₁ = *Drosophiles* à ailes longues et à corps gris.

La seconde génération issue de F₁ sera constituée comme suit :

Génération F₂ :

9/16 *Drosophiles* à ailes longues et à corps gris;

3/16 *Drosophiles* à ailes longues et à corps ébène;

3/16 *Drosophiles* à ailes vestigiales et à corps gris;

1/16 *Drosophiles* à ailes vestigiales et à corps ébène.

De même que dans l'exemple précédent pris en botanique, nous voyons que les caractères longueur des ailes et couleur du corps se transmettent d'une manière indépendante. Il y a disjonction indépendante des caractères hybrides.

Ainsi, dans le patrimoine héréditaire, rien ne se perd ni ne se crée. Mais, grâce au jeu de combinaisons multiples servies par la disjonction indépendante des caractères, d'une part, et la dominance possible, d'autre part, des types nouveaux peuvent apparaître.

Ce que le dihybridisme nous apprend, le trihybridisme, le tétrahybridisme, le polyhybridisme en général, c'est-à-dire le croisement entre des parents, opposés les uns aux autres par trois, quatre, ..., n caractères différents ne feraient que le confirmer. Mais l'analyse expérimentale des résultats de pareils croisements devient fort compliquée. Quoi qu'il en soit, les lois de Mendel nous montrent que l'hérédité ne se transmet pas au hasard, mais selon des rythmes bien déterminés dont l'allure dépend essentiellement de la qualité intrinsèque des caractères transmis, c'est-à-dire selon que ceux-ci sont dominants ou dominés.

29. Interprétation des lois de Mendel

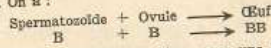
Il nous reste, maintenant, à examiner le mécanisme probable de ces rythmes. Nous verrons ce point très brièvement en donnant d'abord une première interprétation qui était celle de Naudin et de Mendel.

Première loi. — Reprenons l'exemple du croisement des

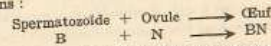
Poules andalouses. Appelons B la potentialité blanche et N la potentialité noire.

Les cellules du corps des Poules blanches contiendront BB.
Les cellules du corps des Poules noires renfermeront NN.
Les cellules reproductrices qui sont des demi-cellules contiendront soit B, soit N.

L'œuf issu de races pures et, par conséquent, les cellules somatiques (cellules du corps) renfermeront BB ou NN, comme il a été dit. On a :

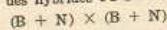


Cela étant, croisons un Coq blanc avec une Poule noire. Nous aurons :



Cet œuf, porteur des potentialités BN donnera des hybrides andalous, mais, quand ces hybrides formeront leurs gamètes, la moitié héritera de la potentialité B et l'autre moitié héritera de la potentialité N. L'ensemble des gamètes mâles aussi bien que l'ensemble des gamètes femelles des hybrides sera donc représenté par le symbole B + N.

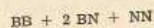
La fécondation des hybrides F₁ s'écrit :



Comme il y a autant de chances pour qu'un gamète B rencontre un gamète B ou un gamète N, on aura :



ou



On aura donc des œufs renfermant soit les potentialités BB, soit les potentialités BN, soit les potentialités NN.

Il y aura donc :

1/4 de volailles blanches de race pure (BB) ;

1/4 de volailles noires de race pure (NN) ;

2/4 = 1/2 de volailles hybrides andalouses (BN).

Ce résultat qui peut être ainsi prévu théoriquement est bien ce que donne l'expérience.

D'autre part, nous voyons que le caractère plumage est régi par un facteur B ou un facteur N. Les facteurs qui dirigent ainsi l'hérédité et qui sont relatifs à un même caractère sont

dits allélomorphes; ce sont des caractères qui se correspondent mutuellement. BN représente un couple d'allélomorphes.

Dans les races pures, tous les couples allélomorphes sont semblables entre eux. Ces êtres sont homozygotes pour tous leurs caractères; les œufs sont identiques entre eux.

Chez les hybrides, les facteurs allélomorphes sont différents au moins par un caractère (monohybridisme). Les gamètes seront donc différents et les œufs seront différents quant à leur contenu héréditaire. On dit que les hybrides sont hétérozygotes pour le caractère étudié.

Deuxième loi. — Considérons le cas des Souris de Cuénot et convenons de désigner par G le facteur gris et par b le facteur blanc.

Comme il s'agit d'un cas de monohybridisme, tous les facteurs allélomorphes sont semblables, à l'exception du couple relatif à la couleur du pelage. On a, en effet :

Parents P :

Souris grises de race pure : GG ;

Souris blanches de race pure : bb.

Gamètes :

Souris grise : G ;

Souris blanche : b.

Œuf : Gb.

Toutes les Souris provenant de ces œufs auront donc les facteurs Gb, mais comme G est dominant et b récessif, toutes les Souris hybrides seront grises.

Les gamètes de ces Souris seront porteurs soit du facteur G, soit du facteur b et l'on peut supposer qu'il y a autant de gamètes G que de gamètes b. Le croisement de ces Souris donnera donc :



On aura ainsi 1/4 de Souris blanches de race pure (bb), 1/4 de Souris grises de race pure (GG) et 2/4 = 1/2 de Souris hybrides porteuses du facteur héréditaire Gb, mais ces hybrides seront gris, car G est dominant et b récessif. Si l'on croise ces hybrides entre eux, on obtiendra le même résultat que précédemment.

Troisième loi. — Prenons l'exemple des Drosophiles. Nous aurons ici deux couples de facteurs allélomorphes différents.

Parents P :
Drosophiles à ailes longues et à corps gris
LL, GG (1)
Drosophiles à ailes vestigiales et à corps ébène
vv, nn (2)

Gamètes :

Ceux de (1) recevront LG;
Ceux de (2) recevront vn.

A la fécondation, les œufs auront la constitution LG, vn ainsi que les hybrides qui en naîtront. Mais, comme les caractères L et G sont dominants, les hybrides auront des ailes longues et le corps gris.

Lors de la formation des gamètes, les facteurs LG, vn passeront dans les spermatozoïdes et dans les ovules, indépendamment, les uns des autres. On aura donc quatre types de gamètes :

(LG), (vn), (Ln), (Gv)

Le croisement s'écrit alors :

$(LG + vn + Ln + Gv) \times (LG + vn + Ln + Gv)$

Il en résulte un jeu fort complexe de combinaisons qui sont les suivantes :

$(LG)(LG) + (LG)(vn) + (LG)(Ln) + (LG)(Gv) + (LG)(vn) + (vn)(vn) + (Ln)(vn) + (Gv)(vn) + (LG)(Ln) + (Ln)(vn) + (Ln)(Ln) + (Gv)(Ln) + (LG)(Gv) + (Gv)(vn) + (Gv)(Ln) + (Gv)(Gv).$

ou :

$(LG)(LG) + 2(LG)(vn) + 2(LG)(Gv) + 2(LG)(Ln) + (vn)(vn) + 2(Gv)(vn) + 2(Ln)(vn) + (Gv)(Gv) + 2(Gv)(Ln) + (Ln)(Ln).$

On peut donner de ces associations de symboles une représentation suggestive sous forme d'un tableau qui permet d'établir facilement la liste et la proportion des combinaisons possibles. La diagonale passe par les cases correspondant aux combinaisons qui réalisent les types homozygotes (fig. 39).

Nous obtenons ainsi 16 types. Parmi ces 16 types, il est facile d'en relever 9 où coexistent les caractères L et G, 3 où L s'associe à n, 3 aussi où G s'associe à v, et, enfin, un seul où v et n sont réunis. Si nous tenons compte du fait que L domine v et G domine n, on aura donc la proportion suivante obtenue expérimentalement :

9/16 Drosophiles à ailes longues et à corps gris;
3/16 Drosophiles à ailes longues et à corps noir;
3/16 Drosophiles à ailes vestigiales et à corps gris;
1/16 Drosophiles à ailes vestigiales et à corps noir.

Il est remarquable de constater l'accord entre ces résultats qui peuvent être prévus et les faits expérimentaux. Cet accord montre, en tout cas, la réalité de la disjonction indépendante des caractères hybrides.

De plus, l'exemple choisi nous permet de constater que certains sujets de la deuxième génération offrent des combinaisons de caractères opposés à ceux des grands-parents (corps

		Gamètes d'un Parent			
		LG	vn	Ln	Gv
Gamètes d'un Parent	LG	LG LG	LG vn	LG Ln	LG Gv
	vn	LG vn	vn vn	Ln vn	Gv vn
	Ln	LG Ln	Ln vn	Ln Ln	Gv Ln
	Gv	LG Gv	Gv vn	Gv Ln	Gv Gv

FIG. 39. — Représentation graphique des génotypes.

gris, ailes vestigiales) ou (corps ébène, ailes longues). Or, parmi ces animaux, ceux qui répondent au symbole (Gv) (Gv) ou à (Ln) (Ln) ne pourront, désormais, engendrer avec leurs congénères de même patrimoine héréditaire que des descendants de même type; il est facile de s'en rendre compte en appliquant les règles que nous avons utilisées. Puisque les individus que nous avons pris comme souche des lignées successives se caractérisaient par l'état corps gris, ailes longues, d'une part, et corps ébène, ailes vestigiales, d'autre part, on aura ainsi assisté, à partir de la deuxième génération, à la production de deux races nouvelles, marquées, non par l'apparition de traits inédits, mais par la combinaison inédite de

traits anciens. C'est ainsi que sera intervenue une mutation, source d'une lignée capable de demeurer fixe dans la suite.

Enfin, l'examen de ces mêmes résultats nous montre que, sur 16 combinaisons possibles de symboles, une seule reproduit le type (vn) (vn) de l'un des grands-parents. Sur un nombre assez limité de descendants, il y aurait donc peu de chances pour qu'il fût réalisé et pour que naquissent des sujets à ailes vestigiales et corps ébène. Cependant, des *Drosophiles* de cette race sont susceptibles de réapparaître lors d'une génération beaucoup plus tardive, par exemple, dans la descendance des *Drosophiles* de symbole (LG) (vn) ou (Gv) (vn). Ainsi s'explique le fait que, dans une lignée quelconque d'animaux, un aspect légué par des ancêtres, souvent très lointains, peut resusciter brusquement après être resté éteint pendant des années et même des siècles. Comme nous le disions plus haut, le patrimoine héréditaire ne se perd donc pas ni ne se crée, mais, par le fait de la disjonction indépendante des caractères, par la dominance et par le jeu des combinaisons multiples, des races nouvelles peuvent arriver à se produire et des types ancestraux réapparaître; ce dernier phénomène est connu depuis longtemps et désigné sous le nom d'atavisme.

Pour terminer, faisons deux remarques. Dans certains cas, deux ou plusieurs caractères hybrides ne se disjoignent pas d'une façon indépendante, mais, au contraire, se transmettent ensemble, comme s'il s'agissait d'un seul facteur héréditaire. Tout se passe alors comme dans le monohybridisme. On dit que les facteurs qui se transmettent ensemble sont liés.

Dans d'autres cas, on a constaté que les lois de Mendel semblaient être en défaut, mais ce n'est qu'une apparence due à l'existence de facteurs léthaux ou facteurs de mort. Prenons un exemple : il existe des Souris qui possèdent un facteur jaune récessif, mais ce facteur est accompagné d'un facteur léthal, d'où l'impossibilité de vivre pour ces Souris, à moins que ce facteur léthal ne soit dominé par un facteur vital. Il en résulte que les Souris hétérozygotes pourront vivre, mais que les Souris homozygotes pour le caractère pelage jaune seront incapables de vivre, car le facteur léthal lié au facteur pelage jaune n'étant plus dominé exercera son action et les Souris mourront avant d'être mises bas. Les résultats statiques sur les portées de Souris ne seront donc plus conformes aux lois de Mendel, mais, si l'on tient compte des Souris mortes dans l'utérus maternel, on obtient une statistique conforme à ces lois.

30. Théorie chromosomique de l'hérédité

Pour expliquer le mécanisme intime des rythmes héréditaires, différentes théories ont été proposées. La plupart admettent qu'il existe dans l'œuf des particules matérielles qui se répartissent ensuite dans les différentes cellules du corps et qui seraient le support de l'hérédité. C'est ainsi que les unités physiologiques d'Herbert Spencer, les gemmules de Darwin, les pangènes de De Vries, les déterminants de Weismann, étaient, dans l'esprit de ces auteurs, le substrat matériel de l'hérédité.

Cette idée, qui n'est donc pas neuve, a été reprise, modernisée et développée par l'Ecole américaine et particulièrement par Morgan et ses élèves. Une science de l'hérédité est née, la génétique; elle a son objet et ses méthodes propres; son essor a été considérable en ces dernières années.

Le principe de base de l'Ecole américaine est que les facteurs héréditaires sont portés par des corpuscules appelés gènes, lesquels s'alignent sur les chromosomes. Chaque gène aurait un rôle particulier : fixation du groupe sanguin, taille de l'individu, longévité, résistance aux infections, couleur des cheveux, de l'iris, forme du nez, des oreilles, de la bouche, dessin des lignes de la main, etc. Les gènes ont été photographiés tout récemment à l'aide du microscope électronique. Ils agiraient sur l'organisme par l'intermédiaire des sécrétions hormonales.

L'ensemble des gènes d'un individu forme son *génotype*. L'aspect de cet individu constitue son *phénotype*.

Il est à noter que tous les caractères du génotype n'apparaissent pas nécessairement. Ainsi, les Souris grises appartiennent à deux génotypes différents GG et Gb; elles ont, cependant, même phénotype, leur pelage est identique. D'autre part, le milieu peut agir sur le phénotype sans atteindre le génotype, d'où les variations individuelles non transmissibles héréditairement.

On sait que les gamètes, mâle et femelle, ne possèdent chacun que n chromosomes; il en résulte que l'œuf renferme $2n$ chromosomes. Or, on admet aujourd'hui, et certains faits expérimentaux le montrent, que, dans l'œuf, les chromosomes mâles restent distincts des chromosomes femelles. Dans ces conditions, voyons ce qui se passe chez les hybrides, lorsque ceux-ci forment leurs gamètes.

Au cours de la première division de maturation sur les $2n$

chromosomes qui s'individualisent, il y en a n paternels et n maternels. Or, ces chromosomes se juxtaposent deux à deux de façon à former n chromosomes doubles paternels et maternels (chromosomes doubles). Il s'ensuit qu'au moment de la réduction chromatique, ces couples momentanément unis se séparent, et l'un des chromosomes va dans un noyau fils, et l'autre dans le second noyau.

Cela étant acquis, appliquons ces données au monohybridisme.

Revenons au cas des Poules andalouses. Sur l'un des chromosomes, se trouvent les gènes BB pour le parent blanc et les gènes RR pour le parent noir. Lors de la formation des éléments reproducteurs, chacun des gamètes du parent blanc aura un chromosome portant le gène B et chacun des gamètes du parent noir aura un chromosome portant le gène R. Un des couples de chromosomes homologues des hybrides F1 portera donc, sur l'un des chromosomes, le gène B et sur l'autre, le gène R. Au moment où ces hybrides formeront leurs gamètes, la couple de chromosomes homologues donnera un chromosome porteur du gène B et un chromosome porteur du gène R. La réduction chromatique fera que l'un des gamètes héritera du chromosome B, et l'autre, du chromosome R. Ces gamètes se formeront en nombre égal, d'où les résultats conformes à la première loi de Mendel. Ajoutons, sans autrement insister, que les cas de polyhybridisme s'expliquent de la même manière et d'une façon encore plus suggestive peut-être.

Il nous reste maintenant à dire un mot du *crossing-over*. Nous avons vu qu'au cours de la formation des gamètes, les chromosomes se rapprochaient deux à deux et donnaient un couple constitué de deux chromosomes disposés parallèlement. Mais il peut arriver que le parallélisme ne se conserve pas et qu'il y ait, par la suite, entrecroisement ou enjambement des chromosomes, ce que les Américains appellent *crossing-over*. Dans le cas le plus simple, cet enjambement donne une figure en X. Prenons l'exemple du dihybridisme des *Drosophiles* et supposons que les gènes G et L se trouvent aux extrémités de l'un des chromosomes et les gènes n et v aux extrémités de l'autre chromosome (fig. 40). S'il y a rupture au point d'accolement et soudure des fragments situés du même côté au cours de la division chromatique, on aura un chromosome porteur du gène G à l'une extrémité et du gène v à l'autre extrémité. L'autre chromosome portera n et L. Or, les résultats que nous avons donnés à propos des *Drosophiles* ne se véri-

fient pas complètement. C'est qu'il se produit l'enjambement des chromosomes pour un certain nombre de cas (8,5 %), d'où résultent des sujets gris à ailes vestigiales, d'une part, et des sujets noirs à ailes longues, d'autre part.



FIG. 40. — Crossing-over. Enjambement de chromosomes aboutissant à des recombinaisons Gv et Ln.

31. Les rythmes héréditaires chez l'Homme

Les problèmes relatifs à l'hérédité normale et pathologique humaine sont beaucoup plus difficiles à aborder que ceux posés par les animaux et les végétaux. Le « matériel » humain n'est pas d'expérimentation facile, la reproduction s'effectue sur une échelle de temps assez longue, et, de plus, il est souvent impossible de suivre les générations les unes après les autres. Néanmoins, un certain nombre de travaux intéressants ont été réalisés sur l'hérédité humaine; les plus sûrs ont trait à la couleur des yeux, à la longévité, à la gemelliparité, aux groupes sanguins, aux croisements entre races différentes, et, au point de vue pathologique, aux malformations congénitales (bec-de-lièvre, hypospadias), aux anomalies du squelette (brachydactylie, polydactylie, etc.), à l'ictère hémolytique, à la chorée de Huntington, à certaines affections cutanées, à la surditité, à l'épilepsie, à l'idiotie, le nanisme, le cancer, etc. La plupart de ces tares se comportent comme caractères dominants; certaines sont récessives: c'est le cas de la rétinite pigmentaire, du nanisme, des varices et, peut-être, aussi, de l'épilepsie, de la surditité, de l'idiotie.

D'autre part, il est des tares héréditaires liées au sexe, en particulier le daltonisme, l'atrophie du nerf optique, certaines formes de la myopie et l'hémophilie. Étudions cette dernière affection à titre d'exemple.

On sait que l'hémophilie est une maladie familiale caractérisée par la tendance aux hémorragies, soit spontanées, soit provoquées, mais sans qu'il y ait proportionnalité entre l'importance de la perte sanguine et celle de la cause qui la détermine. Tenaces et répétées, les pertes sanguines surviennent, en général, par crises; le plus souvent, c'est un saignement de

nez, une hémorragie gingivale qui ouvrent la scène, survenant sans cause appréciable et se prolongeant d'une façon inquiétante. D'autres fois, l'hémorragie est provoquée; elle peut survenir d'une façon accidentelle, à l'occasion d'un traumatisme, d'une extraction dentaire, etc. Ce qui rend l'hémophilie grave, c'est que le sang ne coagule pas ou coagule très lentement, d'où des pertes sanguines importantes qui peuvent atteindre 1 ou 2 litres. On conçoit, par conséquent, qu'une anémie fatale puisse rapidement se développer. Le pronostic est d'autant plus sombre que le malade est plus jeune : 60 % des hémophiles meurent avant 8 ans et 11 % seulement dépassent l'âge de 22 ans.

Or, l'hémophilie ne s'observe que dans la *sexe masculin* et elle se transmet héréditairement (1). Ce fait s'explique par la théorie chromosomique de l'hérédité.

On a constaté, en effet, que les cellules génératrices des spermatozoïdes chez l'homme renferment 23 paires de chromosomes, plus deux chromosomes différents X et Y, appelés *hétérochromosomes*. Chez la femme, les cellules génératrices des ovules contiennent 23 paires de chromosomes plus deux *hétérochromosomes* semblables X et X.

Lors de la formation des gamètes, ceux de l'homme seront de deux sortes; les uns contiendront X et les autres Y. On aura donc :

Spermatozoïdes à 23 chromosomes + X.
Spermatozoïdes à 23 chromosomes + Y.

(1) Le cas le plus illustre et peut-être le plus frappant d'hémophilie familiale est fourni par la descendance de la reine Victoria d'Angleterre. La reine Victoria, porteuse du gène hémophile, se marie avec le prince Albert de Saxe-Cobourg.

L'un de ses fils, Léopold d'Albanie, est atteint d'hémophilie. Il transmet sa maladie à son petit-fils, Ruprecht, par l'intermédiaire de sa fille, mariée avec le prince Alexandre de Teck-Athlone.

Une fille de la reine Victoria, la princesse Alice, épouse le grand-duc de Hesse-Darmstadt. Elle communique le gène hémophile à son fils Frédéric chez qui la maladie éclate comme chez tous les descendants masculins et elle le transmet également à ses deux filles, Irène et Alexandra de Hesse. La princesse Irène a deux fils, Vladimir et Henri de Prusse, qui sont hémophiles. La princesse Alexandra se marie avec le tsar de Russie, Nicolas II. Son fils, le tsarévitch Alexis, est gravement atteint d'hémophilie. L'état de santé de cet enfant est, on le sait, d'extraordinaire et tragiques répercussions sur le destin de la famille impériale. Il fut, en effet, le point de départ des événements funestes liés à la venue et à l'installation à la cour du guérisseur Raspoutine et de sa clique.

Une autre fille de la reine Victoria, la princesse Béatrice, s'unit avec Henri de Battenberg de Hesse-Nassau. Ses deux fils, Léopold et Maurice, meurent d'hémophilie. Sa fille, la princesse Ena Victoria, porteuse du gène hémophile, épouse Alphonse XIII, roi d'Espagne. Les deux fils de la princesse Ena, Alphonse et Gonzales, sont hémophiles.

Au contraire, tous les ovules seront semblables; ils renfermeront tous X et on aura :

Ovules à 23 chromosomes + X.

A la fécondation, il se produira deux sortes d'œufs :

50 % d'œufs à 23 chromosomes + X (spermatozoïdes) + 23 chromosomes + X (ovule) = 23 paires de chromosomes + 2 X.

Ces œufs donneront des filles.

50 % d'œufs à 23 chromosomes + Y (spermatozoïdes) + 23 chromosomes + X (ovule) = 23 paires de chromosomes + X + Y.

Ces œufs donneront des garçons.

Cela étant, soit h le gène hémophile. Son alléomorphe sera S (sain). Admettons, d'une part, que h soit récessif par rapport à S, et, d'autre part, que les gènes h et S soient portés par les chromosomes sexuels (hétérochromosomes).

Considérons une femme de formule chromosomiale 46 chr + Xh + XS; elle ne sera pas malade, puisque S domine h. Supposons qu'elle épouse un homme sain de formule chromosomiale 46 chr + XS + Y.

Leurs gamètes seront :

Spermatozoïdes : 23 chr + XS et 23 chr + Y.

Ovules : 23 chr + Xh et 23 chr + XS.

Leurs enfants pourront être (nous laissons de côté les 23 chromosomes semblables pour simplifier l'écriture) :

Enfants XS Xh féminins sains, mais portant le caractère hémophile à l'état récessif;

Enfants XS XS féminins sains;

Enfants XS Y masculins sains;

Enfants Xh Y masculins hémophiles, puisque le caractère récessif hémophile n'est pas dominé.

Nous aurons donc des descendants mâles hémophiles.

Considérons, maintenant, un homme hémophile Xh Y qui épouse une femme saine XS XS.

Leurs gamètes seront :

Spermatozoïdes : Xh et Y;

Ovules : XS et XS.

Leurs enfants seront :

50 % d'enfants XS Xh féminins sains, porteurs du caractère h récessif;

50 % d'enfants XS Y masculins sains.

Il n'y aura donc pas d'hémophiles dans cette génération, mais toutes les femmes porteront des gènes hémophiles. Enfin, supposons qu'un homme hémophile Xh Y épouse une femme Xh XS porteuse du gène hémophile.

Leurs gamètes seront :

Spermatozoïdes : Xh et Y;
Ovules : Xh et XS.

Leurs descendants seront :

Enfants Xh Y masculins hémophiles;
Enfants Xh XS féminins sains, mais porteurs du gène hémophile;
Enfants XS Y masculins sains
Enfants Xh Xh féminins.

Ces enfants féminins Xh Xh devraient être hémophiles, puisque le gène S est absent, mais on n'en connaît pas d'exemples. Il est probable qu'une léthalité empêche ces filles de naître.

Comme on le voit par ces quelques exemples, la théorie chromosomiale de l'hérédité rend compte d'un grand nombre de faits. Néanmoins, cette théorie a suscité beaucoup de critiques. On lui a reproché, en particulier, de ne pas expliquer l'hérédité en général, le fait, par exemple, qu'un animal d'une espèce déterminée donne toujours l'animal de la même espèce. La théorie, en effet, interprète surtout la transmission de caractères secondaires tels que la teinte des pétales, la longueur des ailes, le pelage des animaux; aussi, certains auteurs, parmi lesquels on peut citer Brachet, pensent que le cytoplasme, et, en particulier, le cytoplasme de l'ovule, pourrait être le support de l'hérédité générale alors que les chromosomes mâles apporteraient les caractères accessoires.

Cependant, quelle que soit l'opinion que l'on puisse avoir sur la validité de la théorie, il n'en demeure pas moins que les rythmes héréditaires sont un fait dont il convient et dont il conviendra de tenir compte largement dans une eugénique humaine rationnelle.

Si nous ne savons pas encore diriger l'hérédité selon nos désirs et à notre gré, nous pouvons, d'ores et déjà, par la connaissance de ses lois, éviter ses fâcheuses conséquences et rechercher ou utiliser ses résultats favorables.

Nous pouvons prévenir, dès maintenant, ses regrettables effets, par une lutte incessante contre les maladies susceptibles de marquer l'espèce humaine dans sa descendance : sy-

philis, alcoolisme, tuberculose, etc., et, si besoin est, nous pouvons supprimer radicalement son action par la stérilisation obligatoire des sujets tarés d'une façon indélébile.

Une eugénique positive consellera, de plus, des unions particulièrement propres à développer telle ou telle qualité physique ou morale et pourra, aussi, dans cet ordre d'idées, envisager l'insémination artificielle.

Enfin, mais ceci appartient à la science et à l'eugénique de demain, l'emploi de produits chimiques appropriés, de substances hormonales spéciales, de radio-éléments, de radiations diverses, électriques ou autres, permettra, vraisemblablement, par la destruction de certains gènes dominants, ou, au contraire, par l'activation de gènes particuliers, la création d'une race de génies ou même de « super-génies » que le lent processus de l'évolution naturelle et le jeu hasardeux des combinaisons chromosomiales n'arriveraient à produire, d'une manière sporadique et aléatoire, que dans un avenir extrêmement lointain.

32. Rythmes dynamiques Mouvements rythmiques chez les végétaux

Dans les cellules végétales, le protoplasma est animé d'un mouvement de cyclose qui est révélé par le déplacement des granulations. Observons au microscope une cellule d'*Elodea* (plante aquatique commune); nous voyons certains grains de chlorophylle suivre des traînées protoplasmiques qui vont du centre de la cellule à la périphérie; d'autres grains suivent une marche inverse. Ce mouvement interne se retrouve, plus ou moins modifié, plus ou moins rapide, dans toutes les cellules végétales vivantes.

Beaucoup de Bactéries (végétaux inférieurs) se meuvent à l'aide de cils vibratiles : ceux-ci sont animés d'un mouvement d'oscillation, de rotation ou d'ondulation, donc d'un mouvement rythmique. Les Zoospores des Algues, des Champignons, des Fougères, etc., se déplacent de même.

Chez les végétaux supérieurs, certains mouvements mettent en évidence l'existence de forces rythmiques de croissance. La pointe d'une tige, celle d'une racine en voie d'accroissement se meuvent en spirale en s'inclinant successivement vers tous les points de l'horizon. Ce mouvement, dit de circummutation, montre que les cellules terminales de la tige se multiplient, non pas toutes ensemble, mais les unes après les autres. Tout se passe

comme si la ligne de plus forte croissance se déplaçait autour du sommet; il est possible qu'une cellule, en se multipliant, induise la cellule voisine à se diviser (par son rayonnement mitogénique ?) (1) et que celle-ci induise la suivante, et ainsi de suite.

Des mouvements périodiques spontanés s'observent chez les feuilles de quelques plantes; ces mouvements paraissent en partie indépendants des causes externes, et, en particulier, de la lumière. La plante la plus remarquable sous ce rapport est le Sainfoin oscillant (*Desmodium gyrans*) qui pousse à l'état sauvage dans la plaine du Gange (fig. 41).



FIG. 41. — Feuille de Sainfoin oscillant.

La feuille est formée de trois folioles : une grande médiane et deux petites latérales. Ces deux dernières sont sans cesse animées d'un mouvement de bascule pendant le jour comme pendant la nuit; de plus, leur polaire, au lieu de monter ou de descendre en ligne droite, se déplace suivant une circonférence. Les folioles décrivent ainsi un cône dans l'espace.

Les paysans indiens disent que la plante danse quand on l'accompagne en claquant des doigts. « En réalité, écrit Bose, elle n'a pas besoin de cet encouragement, car le petit pulvinus qui est à la base de chaque foliole se contracte spontanément, puis se détend lentement.

L'enregistrement graphique met en évidence l'extraordinaire uniformité des pulsations. »

Il est assez inattendu de voir un tissu végétal se contracter et se dilater rythmiquement, aussi on peut supposer qu'il s'agit là d'un fait exceptionnel. En réalité, il n'en est rien, car, d'après Bose, il existerait, chez tous les végétaux, un tissu pulsant dont la fonction serait d'assurer la circulation de la sève; en bref, selon le célèbre physiologiste hindou, les plantes seraient pourvues d'un « cœur ».

Nous n'envisagerons pas ici la théorie classique de l'ascension de la sève. Disons, seulement, qu'elle se montre notablement insuffisante si l'on tente de l'appliquer aux arbres de

(1) L'existence de ce rayonnement est niée par Mlle Chouveau. Pour expliquer le phénomène de circumnutation on peut, aussi, faire intervenir les auxines de croissance.

grande taille. Par contre, les difficultés sont levées si l'on admet l'existence d'un tissu pulsant végétal.

On sait que, chez les animaux, les stimulants accélèrent les pulsations cardiaques; les déprimants, au contraire, les ralentissent.

Une élévation de température augmente l'activité du cœur, un abaissement la diminue.

Une petite dose d'un narcotique accélère le cœur; une forte dose produit, d'abord, une excitation, ensuite, une dépression, enfin, un arrêt si l'action continue.

Voyons si des effets identiques peuvent être observés chez les plantes.

La feuille nous servira d'indicateur du mouvement de la sève; partons de ce fait que la sécheresse provoque l'abaissement des feuilles et qu'un arrosage produit leur redressement. Par conséquent, si un agent est susceptible de provoquer le redressement rapide des feuilles abaissées c'est qu'il accélère l'activité circulatoire. Inversement, s'il fait abaisser des feuilles redressées, c'est qu'il ralentit le courant de la sève.

Cela étant acquis, coupons un rameau et attachons l'une de ses feuilles à un stylographe capable d'amplifier tout mouvement une centaine de fois.

Appliquons une solution de bromure de potassium sur l'extrémité sectionnée du rameau. La feuille s'abaisse immédiatement.

Des applications successives d'eau froide et d'eau chaude provoquent des alternances de retard et d'accélération de la vitesse d'ascension de la sève.

De l'éther dilué produit un redressement rapide de la feuille. Une excitation, suivie de dépression, est l'action du chloroforme.

Avec Bose, nous pouvons donc dire :

« Les effets opposés du froid et de la chaleur, les réactions caractéristiques obtenues avec des stimulants ou des déprimants du cœur, montrent que le mécanisme du mouvement de la sève est essentiellement le même que celui du sang chez les animaux. »

Ces résultats obtenus, employons-nous à localiser le « cœur » de la plante.

On sait que tout tissu pulsant, qu'il soit animal ou végétal, présente des variations de potentiel électrique. A l'aide d'une sonde électrique, nous recueillerons donc les courants dont nous

présumons l'existence; un galvanomètre enregistreur inscrira leurs variations et nous renseignera sur leur intensité (fig. 42). Enfonçons la sonde dans l'épiderme; aucune pulsation n'est

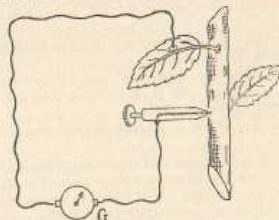


FIG. 42. — Sonde électrique. G, galvanomètre sensible (d'après Bose)

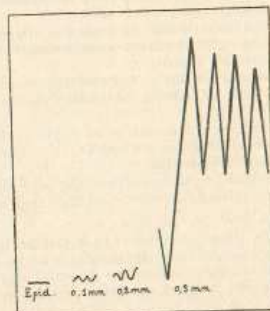


FIG. 43 — Pulsation végétale (d'après Bose).

décélée. De 0 mm 1 à 0 mm 2, une faible pulsation commence. Par contre, à 0 mm 3, les pulsations augmentent de telle sorte que le stylet enregistreur sort de la plaque (fig. 43). Pénétrons

plus profondément, l'activité pulsatoire disparaît rapidement.

Une coupe transversale de la tige montre que les cellules de plus forte activité sont celles de la face interne de l'écorce tout contre le jeune tissu vasculaire. Ces cellules constituent le « cœur » de la plante.

Nous nous en tiendrons à ces résultats expérimentaux qui sont suffisamment probants; ajoutons, cependant, que, pour parachever sa démonstration, Bose montra que les caractères essentiels de l'activité cardiaque animale se retrouvent dans les réactions pulsantes végétales.

Il fit voir, en effet, que les battements du « cœur » de la plante s'arrêtent si la pression devient insuffisante et reprennent si elle remonte assez tôt, que les battements cessent, aussi, quand le « cœur » végétal est trop déprimé (lorsque la plante a séjourné pendant vingt-quatre heures au moins dans l'obscurité), mais qu'un excitant (lumière, secousse électrique) peut les rétablir; enfin, que les anesthésiques comme le chloroforme stimulent le « cœur » végétal comme ils stimulent le cœur animal, puis l'arrêtent, amenant la mort du végétal, ainsi qu'il arrive à l'animal dans les mêmes conditions (1).

33. Rythmes animaux

Le protoplasma des cellules animales est généralement animé d'un mouvement giratoire. Le phénomène est particulièrement facile à vérifier chez les Infusoires. Chez la Paramecie, par exemple, Infusoire cilié, l'endoplasme est animé d'un mouvement lent et continu qui le fait pour ainsi dire couler constamment d'une extrémité à l'autre de la cellule. De plus, cet Infusoire présente deux vésicules (organes excréteurs) qui se contractent rythmiquement toutes les sept à quinze secondes; de pareils organites se retrouvent chez un grand nombre d'êtres unicellulaires.

Les Vorticelles, qui sont des Infusoires fixés, présentent de curieux mouvements périodiques. Le pédoncule qui les porte se rétracte brusquement et régulièrement pour revenir, tout de suite après, à l'extension (fig. 44).

Beaucoup d'animaux inférieurs se meuvent à l'aide de cils vibratiles (Infusoires, Flagellés, etc.). Certains organes sont

(1) L'œuvre expérimentale du savant hindou, n'a pas trouvé, dans les cercles officiels de la science, l'accueil qu'elle mérite. Il faudra, sans doute, un renouvellement profond de la biologie pour la mettre à l'honneur et donner à Bose le titre qui lui revient, celui d'un novateur général et d'un très grand physiologiste.

également pourvus de tels cils (choanocytes des Eponges, branchies des Mollusques, œsophage, etc.).

Ordinairement, ces cils sont disposés en séries linéaires et leur mouvement d'oscillation et de battement a lieu dans un même plan et d'une façon rythmique. Dans une même série linéaire, tous les cils battent successivement, en commençant par l'une des extrémités. Chaque cil est en retard sur le précédent d'une très légère portion de temps; de plus, les cils qui se trouvent sur une même rangée transversale, dans un système de séries linéaires, battent synchroniquement. Il en résulte une série d'ondulations qu'on a comparées à celles que l'on voit à

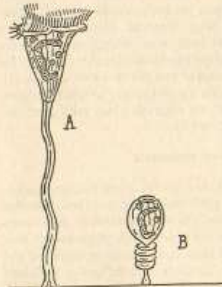


FIG. 44. — Vorticelle. A, épanouie. B, rétractée.

la surface d'un champ de Blé dont les épis s'inclinent sous le souffle du vent.

Chez les animaux supérieurs, les grandes fonctions, digestion, excréation, respiration, circulation, la contraction musculaire, s'accomplissent rythmiquement: nous ne faisons que signaler le fait sans insister autrement. Chez les Ascidies, le rythme cardiaque est curieux. Après un certain nombre de contractions, le cœur de ces animaux s'arrête quelques secondes, puis se remet à battre en sens inverse; une minute ou deux après, nouvel arrêt, puis nouveau renversement et ainsi de suite. Le phénomène est unique dans le règne animal et n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante.

Au cours de la révolution cardiaque, le cœur est le siège de courants électriques rythmiques. Tout muscle, en effet, produit un courant en se contractant, la partie en action devenant négative par rapport à celle restée au repos. Le cœur, qui n'est qu'un gros muscle creux, crée également des courants d'action pendant sa systole. Ces courants peuvent être mis en évidence à l'aide d'un galvanomètre sensible dont les électrodes sont placées à la surface de l'organe, mais ce procédé expérimental ne

peut être appliqué que chez les animaux. Chez l'Homme, on met à profit la diffusion des courants d'action du cœur dans tout l'organisme pour les recueillir à la surface cutanée. Tout se passe comme s'il existait dans le cœur deux pôles, l'un basal B, l'autre apical A, entre lesquels les variations de potentiel sont

maxima (fig. 45). Il en résulte qu'en appliquant les électrodes au membre supérieur droit et au membre inférieur gauche, les oscillations galvanométriques présentent la plus grande amplitude. A l'aide d'électrocardiogrammes, on obtient des cardiogrammes qui permettent de déceler les troubles pathologiques cardiaques (1).

Le sang qui arrive dans le système vasculaire provoque une distension des artères. La réaction des parois des artères à cette distension constitue la tension artérielle, dont les variations sont périodiques; dans sa production, trois facteurs principaux entrent, en effet, en

FIG. 45. — Courants d'action du cœur. A et B, pôles électriques du cœur.

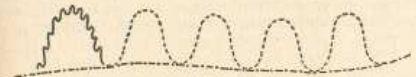


FIG. 46. — Oscillations de la pression artérielle :

— — — — — Oscillation d'origine cardiaque.
- - - - - Oscillation d'origine pulmonaire.
... .. Oscillation d'origine vasculaire.

jeu, les facteurs cardiaque, pulmonaire, vasculaire, tous rythmiques. Les trois rythmes se superposent (fig. 46).

(1) D'après les récents travaux du Dr André Jouve, la source des forces électromotrices cardiaques serait unique. La détermination spatiale du point d'origine ou supprimerait certaines difficultés auxquelles donne lieu l'interprétation vectorielle classique.

Dans les quelques lignes servant d'introduction à ce travail, nous disions que la méthode analogique conduit le plus souvent à des résultats qui faussent la réalité et nous ajoutions qu'il n'en serait pas fait emploi ici. Nous ferons cependant exception à cette règle en signalant les relations qui semblent exister entre les rythmes cardiaques et pulmonaires et certains rythmes planétaires.

D'après le Dr Lavezzari, les rythmes qui régissent l'Univers planétaire se retrouvent chez l'Homme dans la respiration et la circulation. Voici un résumé des travaux de ce savant paru dans le Bulletin de la Société Astronomique de France.

Après avoir rappelé que c'est dans la circulation et dans la respiration que nous trouvons les rythmes caractéristiques de l'être humain, le Dr Lavezzari dit que le chiffre normal des pulsations de l'Homme en bonne santé est de 72 par minute, celui des respirations de 18 par minute. Le rapport des deux est $\frac{72}{18} = 4$. Donc, à l'état normal, notre cœur bat quatre fois, pen-

dant que nous respirons une seule fois. Or, le phénomène astronomique bien connu de la précession des équinoxes fait parcourir au point équinoxial toute la sphère céleste en 25.920 ans. Cette période de 25.920 ans représente ce que les anciens appelaient la grande année ou l'année mondiale platonicienne. Son jour était de $\frac{25.920}{3602} = 72$ ans. Voilà un des grands mouvements

de l'axe de la Terre. Un autre est encore très caractéristique, c'est celui qui est dû à l'influence de la Lune; il dure 18 ans. Or, entre ces deux mouvements, nous trouvons le rapport :

$$\frac{72}{18} = 4$$

le même que celui des pulsations aux respirations par minute.

Mais voici encore un fait plus caractéristique; le nombre des respirations d'un homme normal par 24 heures est :

$$18 \times 60 \times 24 = 25.920$$

c'est-à-dire le chiffre, en années terrestres, de l'année mondiale.

Le Dr Lavezzari trouve encore le rapport de 4 à 1 entre le rythme circulatoire et le cycle respiratoire : pour renouveler complètement l'air des poumons, il faut 7 respirations pendant lesquelles le cœur bat 28 fois, d'où le rapport : $\frac{28}{7} = 4$

Le Dr Lavezzari constate aussi, qu'il faut 28 battements du cœur pour qu'un globule rouge parcoure tout le circuit de notre corps; or, 28 est à 1 comme le nombre de jours du mois (cycle lunaire) est au mois. Enfin, il remarque que les globules blancs sont 10 à 12 fois plus lents que les globules rouges; la vitesse des premiers est donc à celle des seconds comme le mois lunaire est à l'année lunaire.

Ces coïncidences sont-elles fortuites? Nous ne le pensons pas. Les organismes se comportent, vraisemblablement, comme de véritables résonateurs et ajustent leurs rythmes particuliers aux grands rythmes universels; de plus, du fait de l'évolution, de telles correspondances doivent se trouver surtout réalisées chez l'Homme.

34. Courants électriques cérébraux à forme rythmique

En 1929, le Dr Berger, de Leipzig, découvrit que le cerveau, au repos, émet des courants oscillants de très faible voltage et de basse fréquence; il donna à ces courants électriques le nom d'ondes alpha.

Lorsque les centres nerveux entrent en activité, d'autres ondes, de fréquence irrégulière, se manifestent; ce sont les ondes bêta.

Ces deux sortes d'ondes sont mises en évidence par l'expérience suivante qui est l'une des attractions du Palais de la Découverte, section de biologie expérimentale.

Un sujet est placé dans une cage de Faraday, afin de le soustraire aux influences électriques extérieures. On lui pose sur la tête deux électrodes; l'une est appliquée au sommet du crâne, l'autre dans la région occipitale; les deux électrodes sont reliées à des appareils amplificateurs et enregistreurs de courant.

Lorsque le sujet demeure immobile, « ne pense à rien » et n'est pas sollicité par un excitant extérieur, le courant électrique cérébral s'inscrit en une courbe régulière (fig. 47) de fréquence 8 à 12 (ondes alpha).

Dès qu'il se livre à un travail cérébral quelconque (évoocation d'un souvenir, opération arithmétique simple, etc.) ou se trouve dérangé de son état de détente mentale par un bruit, une lumière brusque, les ondes alpha disparaissent et un graphique sinueux, à fréquence irrégulière, 25 environ, et à amplitude réduite (fig. 48), s'enregistre à leur place (ondes bêta).

Pendant le sommeil, les ondes alpha persistent d'abord, mais leur amplitude est atténuée. Le tracé passe, ensuite, par plu-

sieurs stades différents dont le dernier, correspondant à un sommeil profond, est représenté par des ondes très lentes, analogues à celles que l'on obtient avec les blessés du crâne, dans le coma. Les rêves introduisent de très brèves perturbations dans l'encéphalogramme du sommeil, ce qui laisse supposer, comme le pensaient déjà les psychologues, qu'ils sont extrêmement courts.

En règle générale, les enfants présentent des rythmes lents et amples et ce n'est guère qu'à 19 ans que le rythme de l'adulte s'installe définitivement.

Dans les maladies mentales dues à des lésions cérébrales,

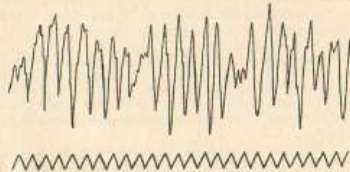


FIG. 47. — Electro-encéphalogramme normal. En bas de la figure, temps en 1/10 de seconde (d'après le Dr Berger).



FIG. 48. — Influence de l'activité mentale sur l'électro-encéphalogramme. La flèche (1) indique le début du calcul mental et la flèche (2) en marque la fin (d'après le Dr Berger).

dans la méningite, l'encéphalite, la forme des ondes alpha est altérée. Par contre, elle ne l'est pas ou l'est peu dans les psychoses sans lésions. Dans l'épilepsie généralisée, des potentiels anormaux se forment et s'annulent brusquement. Fait remarquable, des parents d'épileptiques, apparemment sains, offrent des tracés altérés.

Dans les cas de tumeur cérébrale, les rythmes électriques sont transformés et l'on remarque la présence d'ondes lentes du type « delta », de fréquence 0,2 à 4. Ces ondes ne sont pas produites par la tumeur elle-même mais par les tissus avoisinants, comprimés ou lésés.

Les traumatismes crâniens produisent, également, une modification des ondes cérébrales.

Chez les animaux on a fait de curieuses observations. Un Lapin est endormi par un anesthésique; son cerveau émet des ondes alpha. Réveillé, l'animal se met à flairer une carotte; des ondes bêta apparaissent, mais avec alternances d'ondes alpha : le Lapin fixe difficilement son attention. Des expériences analogues faites avec le Chat montrent que cet animal se concentre beaucoup mieux que le Lapin; ondes alpha et ondes bêta sont nettement séparées. Enfin, les Insectes donnent, aussi, ces mêmes ondes suivant qu'ils sont placés dans l'obscurité ou éclairés brusquement; un fait assez inattendu et quelque peu déconcertant est à noter ici : les courbes obtenues avec les Coléoptères sont tout à fait semblables à celles que fournit l'Homme.

36. Rythmes sexuels

Nous avons donné, plus haut, quelques indications sur l'activité sexuelle de l'Homme en fonction des saisons. Envisageons, maintenant, la question de la sexualité dans son ensemble, toujours au point de vue du rythme, évidemment.

Examinons, d'abord, le développement de la sexualité au cours de la vie; nous verrons, ensuite, le rythme mensuel dans la phase active.

Dans les jours qui suivent sa naissance, le petit garçon présente une hypertrophie testiculaire et la petite fille un fort développement des ovaires et de l'utérus. Ensuite, il y a involution des organes. On peut considérer ces transformations morphologiques comme une première manifestation de la sexualité.

D'autre part, d'après les psychanalystes, l'instinct sexuel apparaît dès la première enfance. « L'enfant qui tète sa mère, écrit Heenard, éprouve un plaisir proprement voluptueux; l'accomplissement en toute candeur des fonctions digestives et excrétrices peut être, également, l'occasion de manifestations qui apparaissent plus tard, dans le souvenir de l'individu devenu grand, comme érotiques. »

Vers l'âge de 5 à 7 ans, il y aurait une nouvelle phase sexuelle avec attirance vers l'autre sexe.

Puis arrive la puberté.

Chez la femme, l'âge de puberté dépend d'un grand nombre de facteurs; d'une façon générale, les citadines sont réglées plus tôt que les villageoises, les jeunes filles aisées avant les jeunes

filles pauvres; nos contemporains devanceraient l'âge moyen de la puberté tel qu'il existait il y a un siècle; la race intervient également. Quoi qu'il en soit, la puberté féminine apparaît généralement entre 10 et 13 ans.

Chez le garçon, la puberté se situe entre 11 et 14 ans.

L'apparition de la puberté est accompagnée, comme on le sait, d'un grand nombre de modifications physiologiques et psychologiques : modification de la voix, développement des poils chez l'homme, de la musculature, troubles psychologiques; le sang, l'appareil circulatoire, les glandes endocrines se transforment également à cette époque.

Après la puberté, c'est la phase active, de durée variable, selon les individus; elle s'achève vers 48 ans chez la femme. Chez l'homme, cette période persiste, parfois, jusqu'à un âge très avancé; on cite comme « cas limite » celui de P. Albrecht qui se remaria à 80 ans et eut 8 enfants, dont le dernier à l'âge de 103 ans, et le cas de G. Douglas qui s'est remarié à 119 ans avec une activité sexuelle d'homme adulte.

La ménopause est marquée par des modifications chimiques, anatomiques et physiologiques des organes, et, corrélativement, par l'apparition d'états nerveux et psychologiques, anxiété, dépression, obsessions délirantes, faux mysticisme.

Pour certains auteurs, la ménopause est une seconde puberté.

A l'intérieur de la phase active, jouent les rythmes saisonniers; nous n'y reviendrons pas; il nous reste donc à parler des rythmes mensuels.

Chez la femme, le rythme mensuel est caractérisé par un écoulement sanguin; c'est là, du moins, le côté le plus apparent du phénomène. En réalité, des modifications physiologiques importantes précèdent, accompagnent et suivent le flux sanguin.

Dans les jours précédant les règles, la température s'élève; avant et après le flux, se produisent des modifications du taux cholestérolémique, de la richesse du sang en iodothine, calcium, potassium, phosphore, etc.; la formule sanguine est également modifiée. Au point de vue du système nerveux, on observe généralement un état vagotonique avant les époques et sympathicotonique après, d'où les troubles bien connus du caractère; dans certains cas, ces troubles frisent l'aliénation. Tous ces phénomènes dépendent des produits de la sécrétion interne de l'ovaire, et, particulièrement, de la folliculine.

Le rythme mensuel chez l'homme est moins évident que chez la femme. Quelques auteurs prétendent qu'il existe cependant et

se traduit par des variations de température, de poids, etc. Dans quelques cas, des hémorragies périodiques auraient été observées; on peut le constater, parfois, chez les hémorroïdaires.

Au point de vue de l'instinct sexuel, il est difficile de dire si le rythme du désir coïncide avec le rythme mensuel. Les avis sont partagés. Cette divergence d'opinion n'est pas pour surprendre étant donné que le rythme sexuel chez l'homme est, en partie, faussé par la civilisation.

36. Rythmes psychologiques

Les modifications rythmiques des états psychologiques n'observent nettement dans la cyclothymie et dans certaines psychonévroses dites intermittentes. En teinte moins vive, ces variations d'états se produisent également chez les gens normaux ou considérés tels; nous avons, tous, nos bons et nos mauvais jours et même nos bonnes et nos mauvaises heures; il est des gens du matin comme il est des gens du soir.

D'autre part, l'activité intellectuelle normale est plus ou moins rythmique. D'après Ehrenberg, elle serait fonction des variations périodiques de la richesse en phosphore et en azote du cerveau.

Dans le tempérament cyclothymique, le caractère est en état de perpétuelle oscillation. Après une période normale plus ou moins longue, où l'individu est gai, plein d'entrain, survient une phase de dépression; rien n'intéresse plus le malade, tout lui coûte, ensuite, succède une période d'excitation qui se termine souvent par une nuit sans sommeil. Puis, le cycle recommence.

L'histoire littéraire et religieuse a enregistré de nombreux cas de tempéraments cyclothymiques. A. de Musset, par exemple, traversait des périodes alternées d'exaltation productive et de dépression morale avec dégoût du réel. Ouvrez, dit Kahn, dans sa thèse sur la cyclothymie, le volume des *Poésies Nouvelles*, de Musset, et, sur le même feuillet, vous trouverez les deux faces du tempérament cyclothymique, les deux aspects d'un même individu, tantôt exalté, tantôt déprimé.

Dans « Chansons », Musset chante l'exaltation et la joie de vivre; cependant, le dernier quatrain laisse prévoir la dépression :

« Ah ! fugitive enchanteresse;
Sais-tu seulement ton chemin ?
Faut-il donc que le vieux Destin
Ait une si jeune maîtresse ! »

Tournons la page et nous lisons dans « Tristesse » ces vers connus de tous; ils expriment la dépression :

« J'ai perdu ma force et ma vie
Et mes amis et ma gaieté
J'ai perdu jusqu'à la fierté
Qui faisait croire à mon génie. »

Enfin, comme beaucoup de poètes, un grand nombre de saints, d'ascètes, d'illuminés furent des cyclothymiques; chez ces mystiques, l'exaltation religieuse, la folie intense, alternent, souvent, avec des périodes de doute et de « chute ».

En psychiatrie, les exemples de tempéraments cyclothymiques abondent. Ainsi, le Dr Toulouse a cité le cas d'un dentiste qui, « tous les étés, manifestait une exubérance fatigante pour ses proches. Il soignait et opérait avec habileté et ardeur ses clients, et, pour se délasser, faisait de l'escrime, de l'équitation, du canotage, cherchait à perfectionner les bicyclettes. Puis, dès que l'automne arrivait, sa flamme tombait, le bavard se taisait, l'homme entreprenant devenait réservé et pessimiste; il se couchait et, pendant quatre mois, rien ne pouvait le tirer hors du lit, ni le faire sortir de son inaction. Sa femme, dentiste comme lui, le remplaçait pendant qu'il hibernait comme une véritable marmotte humaine ». Ce cas se situe évidemment aux frontières de la psychose.

Aux états d'exaltation et de dépression de la cyclothymie correspondent des modifications physiologiques qu'il est facile de mettre en évidence par un certain nombre de tests : plus ou moins grande rapidité du pouls, augmentation ou diminution du métabolisme basal, modification des réflexes mécaniques sympathiques, variation de la chronaxie, du p , etc. Les changements du p_H sont, en particulier, intéressants à suivre, non seulement chez les cyclothymiques, mais chez les individus normaux.

Chez ces derniers, on trouve, en dehors de la vague alcaline des repas, exagération d'alcalose le matin et augmentation d'acidose le soir, surtout après une fatigue musculaire. Si l'alcalose matinale prend du développement, elle implique une petite tendance vagale qui se traduit par une propension à voir les choses en noir. Si elle persiste au cours de la journée, l'anxiété s'installe. Au contraire, si l'acidose s'établit, l'anxiété disparaît.

Le tempérament cyclothymique porte, en lui, le germe de la psychose intermittente (fig. 49) dans laquelle les troubles appa-

raissent sous forme de crises, habituellement séparées par des intervalles plus ou moins longs de lucidité. Aux crises d'excitation succèdent, généralement, des crises de dépression. L'excitation ou la dépression sont dites intermittentes quand cet intervalle n'est pas entièrement normal. La folie à double forme est dite circulaire quand l'excitation et la dépression se succèdent de manière cyclique.

Bon nombre de psychoses à évolution progressive ou chroniques d'emblée sont elles-mêmes traversées, par périodes, de grands courants d'excitation ou de dépression qui donnent au tableau clinique une physionomie oscillante. Il en résulte que l'évolution des troubles mentaux, par accès, rythmique, est un fait banal en psychiatrie.

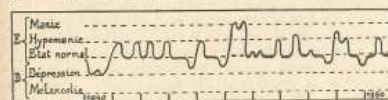


FIG. 49. — Evolution d'une psychose intermittente de 1940 à 1950. E, phases d'excitation. — D, phases de dépression. Prédominance des phases d'excitation et particulièrement des accès hypomaniaques.

CONCLUSION

Nous arrêtons ici notre étude sur les rythmes. Elle est, bien entendu, incomplète, puisque nous avons dû nous limiter afin de ne pas trop alourdir cet ouvrage déjà riche de substance. C'est ainsi que nous n'avons parlé ni des rythmes de l'atome et de la molécule physiques, ni des rythmes cristallins, ni des mutations cycliques de la matière (cycles de l'Azote, du Carbone, du Silicium, etc.). Nous avons également passé sous silence les rythmes embryonnaires et évolutifs, certains rythmes physiologiques comme les rythmes vasculaires et nerveux; nous n'avons fait qu'effleurer la question du p_H urinaire et sanguin; enfin, de longs développements auraient pu être consacrés aux rythmes psychologiques.

Cependant, par la diversité des faits signalés, nous espérons avoir réussi à montrer que le rythme est un phénomène très général et qu'il est, par conséquent, légitime de le considérer, et ce sera là notre conclusion essentielle, comme l'une des propriétés de l'Univers.

Sous quelque aspect, en effet, que l'on envisage le Cosmos, depuis les Mondes qui gravitent dans l'espace jusqu'aux plus fines particules de l'atome, qu'il s'agisse de choses visibles ou de forces immatérielles, de matière inerte ou de substance vivante, tout, en dernière analyse, semble être soumis à la loi du rythme.

L'Univers dans son ensemble, les êtres de cet Univers évoluent, progressent en passant par des successions rythmées de périodes d'activité puis de répit, d'accroissement puis de désintégration, de vie puis de mort.

Ajoutons, bien que ce ne soit pas là notre sujet, que poésie, musique, chorégraphie, peinture et sculpture décoratives, architecture, ne font, probablement, qu'exprimer, par le canal de la pensée humaine, la grande loi cosmique du rythme.

André Maurois appelle poètes ceux qui savent percevoir et entendre les rythmes cachés de la vie. La cadence et la rime du vers, un certain parallélisme de construction dans la phrase, la répétition du motif musical, toujours le même et cependant différent (loi du contrepoint), le retour régulier d'un thème, d'une attitude, d'un dessin, d'une pensée, introduisent, dans le désordre des choses, une harmonie intelligible, reflet des rythmes universels, et ce désordre, alors ordonné, devient, par là, poétique.

Une autre conclusion s'impose également. A mesure que nous avons envisagé les phénomènes rythmiques, nous avons pu constater que beaucoup d'entre eux agissaient sur certains agents dynamiques terrestres, sur les êtres vivants et sur l'Homme en particulier. Il est donc permis de dire, en seconde conclusion, que, dans l'immense Univers, êtres et choses sont solidaires.

Ce sont ces conclusions et leurs conséquences que nous examinerons dans notre livre « ESSAI D'INTERPRÉTATION DES CYCLES ET DES RYTHMES ». C'est également dans ce travail que nous rechercherons les causes profondes des phénomènes rythmiques et que nous fixerons quelques règles de vie en harmonie avec les grands rythmes naturels, règles de vie que l'Homme devrait observer pour conserver ou acquérir la santé, et, s'il se peut, pour découvrir le bonheur.

LEXIQUE

Adénite. L'adénite est une inflammation des ganglions lymphatiques qui résulte d'une infection microbienne.

Amphotère. Certains oxydes hydratés se combinent, indifféremment, avec les acides et avec les bases. Ainsi, l'hydrate de zinc donne, avec l'acide chlorhydrique, du chlorure de zinc, et, avec la soude, base forte, un sel bien défini, le zincate de sodium. Dans la première réaction, l'hydrate de zinc se comporte comme une base et, dans la seconde réaction, agit comme un acide. De telles substances, qui peuvent se combiner aux acides et aux bases, sont appelées *amphotères*.

Bien des corps sont des amphotères. Tel est le cas des protéines. En solution franchement acide, ces substances jouent le rôle de bases et se comportent en colloïdes positifs; en milieu alcalin, elles jouent le rôle d'acides et donnent des corpuscules négatifs.

Annélides. Les Annélides sont des Vers dont le corps est formé d'anneaux. Ils mènent une vie libre dans la terre, dans les eaux douces ou dans la mer. Le Lombric ou Ver de terre, la Sangsue, la Néréis sont des Annélides.

Bec-de-Lièvre. Au cours du processus embryonnaire de l'être humain, la face se développe aux dépens de divers bourgeons qui, d'abord séparés, se rapprochent et se fusionnent. Lorsque la coalescence ne se fait pas convenablement, il subsiste des fissures faciales qui ont reçu le nom générique de bec-de-lièvre. Les fissures les plus fréquentes et les mieux étudiées sont les fissures nasales et lacrymales.

Brachydactylie. La brachydactylie est le raccourcissement des doigts, ceux-ci conservant le nombre normal de phalanges.

Catalyse et Catalyseurs. Les catalyseurs sont des substances qui, introduites, en petite quantité, dans des systèmes chimiques en équilibre, en provoquent ou en accélèrent l'évolution sans paraître prendre part à la réaction. Selon l'expression imagée de Berzélius, « ils éveillent les affinités chimiques assoupies ». Urbain les appelle des « rupteurs de contraintes ».

Le nombre des réactions catalytiques est considérable, si considérable même que la plupart des chimistes n'hésitent pas à dire que toute réaction chimique, quelle qu'elle soit, a besoin d'un catalyseur pour s'accomplir.

Ainsi, l'eau oxygénée, relativement stable à la température ordinaire, se décompose rapidement en eau et oxygène quand on la met en contact avec de la mousse de platine. Après la réaction,

tion, le platine n'a changé ni de masse ni de nature; c'est un catalyseur.

Un morceau de sucre ordinaire ne flambe pas; imprégné très légèrement de cendre de cigarette, il s'enflamme facilement; la cendre de cigarette, incombustible par elle-même, permet au sucre de brûler; c'est une substance catalytique.

Les applications industrielles de la catalyse sont extrêmement importantes, principalement dans les industries de synthèse.

Choanocyte. Les choanocytes sont des éléments histologiques propres aux Eponges. Ce sont de hautes cellules ovoïdes, portant un long flagellum, entouré à sa base par une collerette hyaline. Les mouvements des flagellums des choanocytes déterminent un courant d'eau à travers la cavité gastrique de l'Eponge et les particules alimentaires entraînées par ce courant sont absorbées par l'Eponge, au niveau des choanocytes.

Chorée de Huntington. Les chorées sont des maladies nerveuses caractérisées par des mouvements convulsifs et fréquents. La chorée de Huntington est une forme de chorée héréditaire et progressive qui s'accompagne de troubles mentaux graves. Ces troubles mentaux font partie intégrante de la maladie et en sont un trait spécifique.

La chorée de Sydenham ou chorée des enfants est appelée, vulgairement, danse de Saint-Guy.

Chronaxie. Ce terme et la notion qu'il exprime ont été créés par Lapicque pour traduire, par un nombre, certains caractères de l'excitabilité des cellules et des tissus.

Recherchons le minimum d'intensité au-dessous duquel un courant électrique n'excite plus des cellules d'un type donné, même si nous prolongeons indéfiniment son action. Ce seuil constitue la *rhéobase*. Lorsque la rhéobase est atteinte, excitons, au moyen d'un courant d'intensité double et déterminons, avec précision, le temps minimum pendant lequel cette excitation doit être maintenue pour produire la réaction. Ce temps a été appelé, par Lapicque, la *chronaxie*. La chronaxie est donc la durée minimum que doit avoir un courant d'une intensité (ou d'un voltage) égale à deux fois la rhéobase pour provoquer une excitation lumineuse.

Daltonisme. Le daltonisme est un trouble visuel qui consiste à confondre, entre elles, certaines couleurs. Les couleurs sur lesquelles porte cette imperfection sont généralement le rouge et le vert. Suivant la couleur non perçue, on distingue : 1°) l'achromatopsie, cécité pour toutes les couleurs; 2°) l'anérythropie, cécité pour le rouge; 3°) l'achloropsie, cécité pour le vert; 4°) l'acyanopsie, cécité pour le bleu. Le terme daltonisme provient de Dalton, célèbre physicien anglais qui était atteint de cette affection et qui l'a décrite le premier.

Dermatoses. Les dermatoses sont les maladies de la peau.

Electron-volt. L'électron-volt est l'unité d'énergie utilisée en physique nucléaire. C'est l'énergie cinétique que prend un électron lorsqu'on l'accélère dans une différence de potentiel de 1 volt. L'électron-volt vaut $1,59 \times 10^{-19}$ erg. Cette quantité correspond, à peu près, à l'énergie cinétique d'un atome d'hydrogène se déplaçant à une vitesse de 20 km par seconde.

Enveloppes solaires. Le Soleil peut être assimilé à un milieu plus ou moins homogène dont nous ne voyons que les enveloppes gazeuses qui sont la photosphère, la couche renversante, la chromosphère et la couronne.

Nous avons défini la photosphère au § 8. Voyons ici les autres enveloppes.

La photosphère est entourée d'une couche de vapeur qui renferme la plupart des corps simples. Les rayons lumineux, issus de la photosphère, traversant cette couche, sont en partie absorbés, d'où la présence de raies noires dans le spectre solaire. C'est le phénomène bien connu en physique sous le nom du renversement des raies. De là vient le nom de *couche renversante* donné à la seconde enveloppe solaire.

La couche renversante est moins chaude que la photosphère; son épaisseur est faible : un millier de kilomètres, environ.

La chromosphère, qui fait suite à la couche renversante, n'est que l'extension de celle-ci. Elle doit son nom à sa couleur; elle apparaît, en effet, pendant les éclipses du Soleil comme un mince liseré rose. La chromosphère est principalement composée d'hydrogène, de calcium et d'hydrogène. Au moyen du spectroscopie, on peut l'observer en tout temps, en dehors des éclipses.

La chromosphère projette, au loin, des protubérances qui apparaissent comme d'immenses flammes; les protubérances de 100.000 km ne sont pas rares; certaines atteignent 600.000 km et plus. L'épaisseur de la chromosphère est environ 100.000 km.

La couronne solaire, qui constitue l'enveloppe la plus extérieure du Soleil, apparaît comme une lueur blanche ou gris pâle, s'étendant, décroissant. Son épaisseur, variable avec le rythme undécennal, peut atteindre jusqu'à 6 ou 8 fois le rayon du disque solaire. On ne pouvait, autrefois, l'observer qu'au moment des éclipses. Grâce au dispositif spectrographique de M. Lyot, on peut, depuis 1930, l'étudier en tout temps.

On ne connaît pas exactement la constitution de la couronne. Ce que l'on sait, c'est que cette couche est formée d'une matière extrêmement ténue, puisqu'elle ne gêne en rien les comètes qui la traversent. Certains auteurs pensent qu'elle est constituée d'un « gaz d'électrons ».

Erythème. On désigne, sous le nom d'érythème, toute hyperémie cutanée. Cliniquement, les érythèmes sont caractérisés par des taches rouges d'étendue et d'intensité variables.

Floculation des colloïdes. On sait que les solutions colloïdales

sont constituées de deux éléments : 1°) le dissolvant; 2°) le corps en suspension, celui-ci se trouvant à l'état de fines particules de un dix millièmes à un millionième de millimètre de diamètre.

Les expériences de cataphorèse (dans lesquelles on soumet le colloïde à l'action d'un champ électrique) montrent que les particules colloïdales portent des charges électriques de même signe et que la stabilité des suspensions est due à l'existence de ces charges, les particules se repoussent les unes les autres. Quelques systèmes colloïdaux sont positifs, mais la plupart sont négatifs dans les milieux voisins de la neutralité.

Or, si l'on diminue, au-dessous d'une certaine valeur, la différence de potentiel entre les particules et le milieu dispersant, il n'y a plus de répulsion électrostatique suffisante entre les particules. Celles-ci s'agglomèrent les unes aux autres et donnent, finalement, des « flocons » qui sédimentent. Ce phénomène constitue la *floculation* des solutions colloïdales.

Pour réaliser cette floculation, il suffit d'ajouter un électrolyte approprié à la suspension colloïdale. Dans ces conditions, on admet généralement que l'un des ions de l'électrolyte, celui dont la charge est de signe contraire à celle de la particule colloïdale, se fixe sur celle-ci et neutralise sa charge, ce qui amène la précipitation.

Il existe un certain nombre de systèmes colloïdaux qui ne flocculent que par adjonction de très grandes quantités de sels, probablement à la suite de phénomènes différents du précédent. Ces systèmes flocculent également par addition d'autres systèmes colloïdaux de signe électrique contraire, ou même semblable.

Gauss (champ magnétique). Le gauss est l'unité d'intensité de champ magnétique. C'est l'intensité d'un champ, en un point, où l'unité de masse magnétique + 1 est sollicitée par une force de 1 dyne.

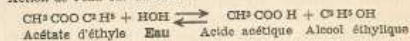
Herpès. L'herpès est une maladie de peau caractérisée par une éruption de vésicules réunies en petits groupes.

Homéopathie. L'homéopathie est un système thérapeutique créé et propagé par Hahnemann et qui consiste à traiter les malades à l'aide de médicaments qui déterminent, sur l'homme sain, des symptômes analogues à ceux que l'on veut combattre. Les homéopathes emploient des doses infinitésimales.

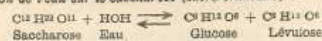
Hydrolyse. Une réaction d'hydrolyse est une réaction déterminée par l'eau agissant par ses ions H^+ et OH^- .

Exemples de réactions d'hydrolyse.

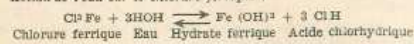
Action de l'eau sur un ester :



Action de l'eau sur le saccharose (sucre ordinaire) :



Action de l'eau sur le chlorure ferrique :



Hypospadie. L'hypospadie est une malformation consistant dans l'existence d'une fissure médiane sur la paroi inférieure de l'urètre. L'hypospadie se transmet souvent pendant plusieurs générations.

Ictère. L'ictère, appelé vulgairement jaunisse, est une maladie caractérisée par la coloration jaune des téguments et des muqueuses par les pigments de la bile; ceux-ci se trouvent, également, dans les urines qui prennent une teinte marron. L'ictère hémolytique est dû à une destruction exagérée des globules rouges, d'où une production élevée de pigments biliaires.

Libration de la Lune. Au cours de l'année, la Lune paraît « se balancer » (librer, balancer), osciller, de part et d'autre d'une position moyenne, de sorte que nous apercevons, tantôt sur un bord, tantôt sur l'autre, un mince filet de l'hémisphère opposé. Il résulte de ce phénomène que nous voyons les 59 centièmes de la surface de notre satellite.

Métabolisme basal. Le métabolisme basal est le nombre de millithermies (grandes calories ou kilocalories) produites par heure et par mètre carré par un homéotherme (animal à température constante), à jeun depuis 12 heures, au repos absolu et placé dans un milieu dont la température est 18 degrés (neutralité thermique). Pour un homme de 40 ans, le métabolisme basal est, environ, 30 millithermies. Il est légèrement inférieur chez la femme (27,5 millithermies). Il varie, un peu, avec l'âge. Certains états (hyperthermie) ou certaines maladies (affections des glandes à sécrétion interne, tuberculose, etc.) le modifient plus ou moins profondément.

Météorites. Les météorites sont des fragments minéraux qui proviennent des espaces interplanétaires.

Ces corps pénètrent dans notre atmosphère avec une vitesse considérable, de l'ordre de 40 km à la seconde et donnent lieu à des phénomènes lumineux remarquables. Certains météorites sont de grande taille : un uranolith qui l'on peut voir au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris et qui provient de Charcas (Mexique) pèse 750 kg; un autre, qui a été recueilli à Callie (Alpes-Maritimes), pèse 591 kg; le météorite du Météor Crater de l'Arizona atteint plusieurs tonnes. Mais le plus grand nombre de météorites sont de la grosseur d'un caillou; enfin, les étoiles filantes sont des poussières de la dimension d'une tête d'épingle.

Selon Dauvillier, la plupart des météorites proviennent d'un astre qui s'est rompu au stade lunaire.

Mutation. On désigne sous le nom de mutation toute variation héréditaire d'embryon. Une mutation résulte d'une modification du germen.

Néréis. La Néréis est un Ver marin très commun, appartenant au groupe des Annélides Polychètes.

Orthophosphorique (Acide). L'acide orthophosphorique est l'acide phosphorique ordinaire.

Pathogénésie. On désigne, en homéopathie, sous le nom de pathogénésie, l'ensemble des symptômes développés chez un ou plusieurs expérimentateurs par une substance déterminée dont on veut connaître les propriétés pathogéniques dans le but de guérir les malades atteints de ces symptômes.

Période. En physique nucléaire, cette expression désigne le temps au bout duquel la moitié du nombre des atomes présents dans une masse donnée d'un isotope radioactif a subi le phénomène de désintégration. Les périodes peuvent varier de quelques milliards d'années à quelques millièmes de seconde.

Ainsi, les périodes de quelques éléments radioactifs sont les suivantes :

4,4 milliards d'années pour l'Uranium 238;
2,3 milliards d'années pour le Neptunium 237;
2,400 ans pour le Plutonium 239;
50 ans pour l'Américium 241;
280 jours pour le Curium 271;
Quelques dizaines d'heures pour le Bériodinium 243;
19,7 minutes pour le Radium C;
10-4 seconde pour le Radium C'.

Notons que, dans les corps radioactifs, certains atomes subissent une désintégration immédiate, d'autres subsistent pendant des durées variables allant jusqu'à l'infini. Il s'ensuit que les atomes ont, en moyenne, une durée de vie que l'on appelle leur « vie moyenne ». Ce temps est de même ordre de grandeur que la période.

Photon. L'existence de certains phénomènes tels que l'effet photoélectrique, l'effet Raman, l'effet Compton, a conduit les physiciens à développer une théorie dualiste de la lumière, dans laquelle le concept d'onde est associé à celui de corpuscule lumineux.

Une source de lumière monochromatique émettrait bien des ondes de fréquence donnée, comme le veulent les théories élastiques ou électromagnétiques, mais ces ondes ne seraient pas les véhicules de l'énergie; celle-ci serait transportée par des corpuscules, les photons.

Le photon peut être considéré comme une unité physique caracté-

térisée par certaines constantes. Il a, en particulier, une masse, puisqu'il transporte de l'énergie; elle est donnée par la relation :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

dans laquelle,

m est la masse du photon, v sa vitesse, λ la longueur d'onde de l'onde associée et h la constante de Planck ($6,6 \times 10^{-27}$ C.G.S.).

Cependant, il ne faudrait pas assimiler le photon à un véritable corpuscule matériel qui occuperait, à chaque instant, une position bien définie. A cause de sa très grande vitesse (égale, dans le vide, à celle de la lumière), il relève, non de la mécanique newtonienne, mais de la mécanique einsteinienne. Il en résulte que le photon individuel nous échappe et que la connaissance que nous en avons est uniquement statistique. Si nous connaissons, par exemple, sa quantité de mouvement, nous ignorons sa position et réciproquement. C'est là le Principe d'Incertaince d'Heisenberg.

La représentation dualiste de la lumière a ensuite servi de modèle, à M. de Broglie, à une conception nouvelle relative aux particules matérielles, la *mécanique ondulatoire*.

En mécanique ondulatoire, on associe à tout corpuscule matériel (électron, proton, neutron, etc.) la notion de propagation d'ondes, de la même façon que, dans la théorie de la lumière, on adjoint le photon à l'onde lumineuse. On est ainsi arrivé à interpréter les états quantifiés des électrons dans l'atome de Bohr, comme étant des états où l'onde associée à l'électron est une onde stationnaire et à prévoir la possibilité d'obtenir, avec un flux d'électrons, des phénomènes analogues aux interférences lumineuses. Effectivement, en recevant un faisceau d'électrons sur un réseau très fin constitué soit par un cristal, soit par une feuille métallique très mince, on obtient des interférences.

La théorie du photon a dû, cependant, être perfectionnée. L'onde de la mécanique ondulatoire, dite onde « psi », ne pourrait, en effet, être confondue avec l'onde électromagnétique que si elle possédait les mêmes éléments de symétrie. Or, l'onde « psi » est une grandeur scalaire, alors que l'onde électromagnétique est représentée par deux vecteurs. Les deux ondes ne peuvent donc être assimilées. On pourrait interpréter ce fait en dotant le photon d'une propriété analogue au « spin » de l'électron, c'est-à-dire en supposant qu'il est doué d'une sorte de rotation interne. Mais M. de Broglie a montré que l'assimilation du photon à l'électron de Dirac ne peut pas rendre compte d'un grand nombre de faits, tel que la symétrie du champ électromagnétique, et a proposé de remplacer le photon unique par une association de deux particules douées de propriétés en quelque sorte asymétriques.

Polarisée (Lumière). Alors que la lumière blanche ordinaire

est composée de vibrations ayant toutes les orientations possibles, la lumière polarisée a ses vibrations dans un même plan.

Polychètes. Les Polychètes sont des Vers Annelés, dont le corps, formé d'un nombre considérable de segments, porte des bouquets de soies chitineuses. Les Néréides, les Aphrodites, les Arénicoles sont des Vers annelés Polychètes.

Polydactylie. La polydactylie ou hyperdactylie consiste dans l'augmentation du nombre des doigts ou des orfèdes.

Potentiel hydrogène. Le potentiel hydrogène ou indice de Sørensen ou p_H est le logarithme décimal, changé de signe, de la concentration en ions H^+ (C_H) d'un milieu liquide.

On a :

$$p_H = -\log C_H$$

$$p_H = \log \frac{1}{C_H}$$

Pour $C_H = 10^{-7}$ (c'est le cas de l'eau), $p_H = 7$. D'où :

$p_H = 7$, le liquide est neutre

$p_H < 7$, le liquide est acide

$p_H > 7$, le liquide est basique.

Psoriasis. Le psoriasis est une affection cutanée caractérisée par des plaques, plus ou moins étendues, formées par des squames d'un blanc nacré reposant sur des papules apiculées, rouges et saignant facilement.

Pragmatisme. Le pragmatisme est une doctrine philosophique d'origine anglo-saxonne qui prend pour critère de la vérité la valeur pratique. Ainsi, d'après William James, l'un des fondateurs de la doctrine, « une idée est vraie parce qu'elle est utile; elle est utile parce qu'elle est vraie ».

Rétinite pigmentaire. La rétinite pigmentaire est caractérisée par la présence, sur la rétine, de petites taches noires à forme étoilée, anastomosées entre elles. Les troubles visuels accompagnant la rétinite pigmentaire sont assez variés.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE	V
AVERTISSEMENT ET DÉFINITION	VII
Définition des phénomènes rythmiques	VIII

CHAPITRE PREMIER

CYCLES ET RYTHMES COSMIQUES

1. Matière et énergie	2
2. L'expansion de l'Univers	10
3. Rayons cosmiques	16
4. Evolution des étoiles	21
Radiations électriques de la Voie Lactée	29
5. Les Nevez	29
6. Étoiles variables	29
7. Rythmes solaires	30
8. Action des taches solaires sur le globe terrestre	34
9. Action des taches sur les êtres vivants	37
10. Rythmes lunaires	43
11. Influences lunaires rythmiques	48

CHAPITRE II

CYCLES ET RYTHMES GÉOLOGIQUES

12. Aspects successifs du globe	53
13. Rythmes particuliers	50
14. Action des rythmes météorologiques et marins	61
15. Variations du champ magnétique terrestre	66
16. Action du magnétisme sur les organismes	69
17. Radiations telluriques de nature inconnue	71
18. Influence des connexions au sol	72
19. Action du champ Terre-Atmosphère	73
20. Mouvements de la Terre. — Rythmes quotidiens chez les animaux	76
21. Rythmes quotidiens chez les végétaux. — Mouvements de veille et de sommeil	86
22. Rythmes saisonniers	88
23. Migrations animales	85