

Les frontières de la physique et de la biologie

Autor(en): **Guye, Ch.-Eug.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **18 (1936)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-743052>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LES FRONTIÈRES DE LA PHYSIQUE ET DE LA BIOLOGIE

PAR

Ch.-Eug. GUYE

(Troisième mémoire)

RADIATION ET EVOLUTION.

On sait que les physiciens et les chimistes ont coutume de se représenter les molécules des corps comme de petits édifices en constante agitation et s'entrechoquant perpétuellement sous l'influence de la température (agitation thermique); l'amplitude et l'énergie de cette agitation étant d'autant plus grande que la température à laquelle se trouve le corps est plus élevée.

Réactions thermiques. — Dans bien des cas, lorsqu'on veut produire une action chimique entre deux corps, il suffit d'augmenter cette agitation en élevant la température. Les chocs qui se produisent alors entre ces molécules en présence provoqueraient des dissociations partielles qui prépareraient à leur tour et faciliteraient les combinaisons ultérieures (activation, ionisation, etc.).

On a très souvent comparé ces chocs hypothétiques entre molécules aux chocs qui se produisent entre des corps élastiques. Mais, en réalité, l'idée que nous nous faisons de la constitution intime des édifices moléculaires, qui en dernière analyse

¹ Voir *Archives* (V), 17, p. 5 et p. 226 (1935); voir aussi *Revue Générale des Sciences*, 31 juillet et 15-31 août 1934 (Paris).

ne seraient formés que de charges électriques positives et négatives (se neutralisant parfois par leur association), nous oblige à considérer ces chocs plutôt comme des « chocs électromagnétiques », dans lesquels les actions électro-magnétiques des charges en mouvement et les effets d'induction doivent jouer un rôle prépondérant ¹.

Mais ce moyen d'agir sur les transformations moléculaires par l'intermédiaire de l'agitation thermique — c'est-à-dire en élevant la température des corps en expérience — est un moyen que l'on peut qualifier de brutal. Il est cependant extrêmement efficace dans nombre de cas au point que le physico-chimiste hollandais Van t'Hof a pu, comme on sait, formuler la règle générale mais non absolue que nous avons mentionnée précédemment, laquelle relie la vitesse d'une réaction chimique à la température à laquelle elle se produit.

Mais en agissant ainsi par le moyen de l'agitation thermique, c'est un peu comme si nous cherchions à faire tomber les

¹ On sait, en effet, que les molécules et les atomes d'un corps sont généralement considérés comme formés, d'une part de charges électriques positives et négatives, associées dans les noyaux, et d'autre part de charges négatives (électrons) gravitant autour de ces noyaux selon des trajectoires orbitales.

Or, selon l'hypothèse de Bohr — en contradiction d'ailleurs avec la théorie classique de l'électromagnétisme (macroscopique) — un électron décrivant une orbite autour du noyau, ne rayonnerait aucune énergie; c'est seulement lorsqu'il passerait d'une orbite à l'autre que se produirait une absorption ou un dégagement d'énergie. L'électron, gravitant autour de son noyau, peut donc être assimilé au point de vue de ses propriétés électromagnétiques à un *circuit sans résistance*.

Or, dès 1889 et plus tard en 1919, Gabriel Lippmann, dans des notes sur l'importance desquelles il ne semble pas que l'attention des physiciens ait été suffisamment retenue, a démontré qu'un circuit sans résistance demeurerait en quelque sorte impénétrable à toute variation de flux; que les forces qui prennent naissance par suite des déplacements relatifs de ces circuits, ne sont fonction que de la position des circuits et que dans certains cas particuliers, elles ont entièrement le caractère de *forces élastiques*; en ce sens que tout déplacement ou toute déformation des circuits font naître des forces qui tendent à ramener le système à son état initial qui, de ce fait, se trouve avoir le caractère d'une position d'équilibre.

G. LIPPMANN, *C. R. de l'Acad. des Sc., Paris*, t. CIX, 1889, p. 253; *Annales de Physique*, 9^{me} série, t. XI, mai-juin 1919, p. 245.

fruits mûrs d'un arbre, en secouant violemment l'arbre dans son ensemble. L'expérience montre, en effet, que si l'on cherche à agir sur la matière vivante par une élévation de température, on arrive infailliblement à la détruire irrévocablement, dès que l'on dépasse une température comprise entre cent et deux cents degrés.

Dans la conception à laquelle nous avons fait allusion précédemment, le brassage énergétique qui résulterait de l'agitation thermique suffirait alors, comme nous venons de le voir, à détruire les dissymétries moléculaires ou autres qui seraient à l'origine du phénomène vital et qui, à notre échelle d'observation, conférerait à la matière vivante ses propriétés essentielles.

Réactions photochimiques. — Mais fort heureusement on peut secouer les édifices moléculaires, non pas dans leur ensemble comme le fait l'agitation thermique, mais en agissant plus directement sur leurs éléments constituants.

Pour reprendre la comparaison de tout à l'heure, nous dirions que, sans secouer l'arbre moléculaire dans son ensemble, on peut, sinon récolter les fruits un à un, du moins « gauler » les branches les plus chargées. C'est ce que l'on peut faire, semble-t-il, en faisant tomber sur les corps des radiations convenablement choisies. On peut de cette façon produire des réactions chimiques importantes, sans qu'il soit indispensable d'élever la température de l'ensemble du système. C'est cette catégorie de réactions à laquelle on a donné le nom de *réactions photo-chimiques*.

Le mécanisme de ces réactions est, comme on sait, loin d'être à l'heure actuelle entièrement élucidé, bien que des progrès très importants aient été réalisés dans ce domaine au cours de ces dernières années. Nous ne pouvons songer à en donner ici même un aperçu succinct. Il faudrait pour cela reprendre en quelque sorte toute la question de la luminescence (phosphorescence, fluorescence, etc.)¹.

¹ Voir à ce sujet A. BERTHOUD, *Photochimie*, Collection Langevin-Perrin-Urbain, 1928. Voir également l'ensemble des travaux de Jean et de Francis Perrin.

Bornons-nous donc à rappeler que toutes les sortes de radiations « à énergie égale » n'agissent pas au même degré et que telle ou telle radiation sera particulièrement efficace dans tel ou tel cas spécial.

Mais de façon générale, il semble bien que ce soient surtout les *radiations de courte longueur d'onde* (radiations violettes et ultra-violettes) auxquelles on a d'ailleurs donné plus spécialement le nom de *radiations photo-chimiques*, qui se montrent les plus efficaces. Elles correspondent, comme on sait, à des vibrations plus rapides que les autres radiations lumineuses et que les radiations infra-rouges.

Quant aux rayons X, aux rayons γ , et dans une certaine mesure aux rayons cosmiques, etc., dont les longueurs d'onde sont incomparablement plus courtes que celles des rayons ultra-violettes extrêmes, et qui correspondent, par conséquent, à des vibrations électro-magnétiques encore beaucoup plus rapides, ils sont, eux aussi, capables de produire des actions photo-chimiques. Sont-ils plus photo-chimiques ou moins photo-chimiques que les radiations ultra-violettes ? Il faudrait pour le dire pouvoir les comparer à « énergie égale » et j'ignore si cette comparaison a jamais été faite à ce point de vue.

Mais ce qu'il importe de remarquer, c'est que l'émission de ces radiations ultra-courtes est liée à des transformations qui intéressent l'intérieur de l'atome; il n'est donc pas exclu que les plus rapides d'entre elles ne soient susceptibles d'agir aussi sur le noyau même des atomes qui constituent la molécule.

En résumé, on peut se représenter la radiation comme agissant, un peu à la façon du démon de Maxwell, sur les éléments constitutifs de la molécule; elle serait alors capable de produire photo-chimiquement des configurations moléculaires, dont la réalisation serait tout à fait improbable par la seule agitation thermique. De même que l'agitation thermique est pratiquement incapable de séparer deux gaz mélangés intimement ou que l'agitation mécanique est pratiquement impuissante à séparer les grains blancs et noirs qui constituent une poudre d'apparence grise.

Note sur la dégradation de l'énergie radiante.

Lorsque l'énergie d'une radiation vient à tomber sur un corps à la température ordinaire, elle est le plus souvent partiellement ou même totalement absorbée. Si cette absorption d'énergie n'est accompagnée d'aucune transformation à l'intérieur du corps, elle produira une élévation de sa température et de ce fait, le corps rayonnera à son tour vers l'extérieur jusqu'à ce qu'il ait retrouvé son équilibre primitif de température.

Mais dans ce cas, cette énergie rayonnée par le corps sera toujours de plus grande longueur d'onde que celle de la radiation incidente. Si donc la radiation incidente était de l'énergie lumineuse, l'énergie émise après absorption sera généralement de l'énergie obscure infra-rouge.

En définitive, tout s'est passé comme si l'énergie lumineuse de courte longueur d'onde s'était purement et simplement transformée en énergie de plus grande longueur d'onde; et l'on pourra dire dans ce cas que *l'énergie de la radiation incidente s'est dégradée vers les grandes longueurs d'ondulation*; de même que l'énergie calorifique se dégrade en passant des températures élevées aux températures plus basses.

Pendant longtemps l'on crut qu'il s'agissait là d'une loi générale (Loi de Stokes), conséquence du second principe de la thermodynamique, alors qu'en réalité cette loi ne peut s'appliquer en toute rigueur qu'aux phénomènes purement thermiques.

Ce qui semblait donner à la loi de Stokes son caractère de généralité, c'est qu'on avait remarqué, lorsqu'un corps phosphorescent ou fluorescent était frappé par une lumière de courte longueur d'onde (violette ou ultra-violette, par exemple), que la lumière émise par phosphorescence était généralement moins réfrangible (verte, par exemple), c'est-à-dire de plus grande longueur d'onde que la lumière incidente. On pouvait donc bien dire, dans ce cas, comme dans le précédent, que l'énergie lumineuse s'était dégradée. Il arrivait bien, dans certains cas, que la lumière émise était de longueur d'onde plus courte que la lumière excitatrice, mais généralement on retrouvait alors, dans la partie moins réfrangible du spectre, des radiations de plus grande longueur d'onde que la lumière incidente, de sorte que « dans son ensemble » la loi de Stokes, qualitativement du moins, semblait être encore satisfaite et qu'il pouvait bien y avoir dans l'ensemble dégradation de l'énergie ondulatoire vers les grandes longueurs d'ondulation.

A l'heure actuelle, les physiciens se rendent compte que la loi de Stokes n'est plus rigoureusement et nécessairement applicable, lorsque l'absorption de la radiation cesse d'être un phénomène purement thermique et qu'elle est accompagnée de

transformations internes: phosphorescence, activation, ionisation, réaction chimique, etc.

Toutefois, dans la plupart des cas, cette loi reste partiellement, et l'on peut dire, « qualitativement » applicable; les transformations internes étant, le plus souvent, accompagnées de phénomènes thermiques, il en résulte qu'une partie de l'énergie qui est libérée — qu'elle provienne de la radiation incidente ou de l'ensemble des autres phénomènes — se trouve presque toujours dégradée en radiations dont la longueur d'onde est plus grande que celles de la radiation incidente.

Radiation et Evolution.

Voyons maintenant comment, en s'appuyant sur les considérations qui précèdent, on peut interpréter l'action que la température et la radiation exercent sur la matière vivante.

Rappelons d'abord que les expériences, effectuées dans les laboratoires de biologie au cours de ces dernières décades, ont nettement établi que l'on pouvait « artificiellement » augmenter considérablement le nombre des mutations héréditaires; et cela soit par l'action d'une élévation modérée de la température, soit aussi en faisant agir certaines radiations (rayons ultra-violets, rayons X, etc.).

Il est vrai que les mutations ainsi obtenues, comme d'ailleurs celles qui se produisent spontanément, ne sont le plus souvent que des mutations de faible amplitude, telles par exemple la variation de la couleur des yeux ou la forme et la dimension des ailes des mouches drosophiles ¹.

De plus — et c'est là un point particulièrement important — il ne semble pas que ces mutations puissent être considérées

¹ M. E.-L. Bouvier a cependant montré que certaines mutations peuvent franchir l'hiatus qui sépare des genres différents, et que certaines espèces pouvaient gagner, de ce fait, deux degrés génériques dans leur famille, par une seule mutation. Il suppose alors, pour expliquer la rareté de ces mutations de grande amplitude, qu'elles nécessiteraient une très longue période d'incubation, pendant laquelle, sous l'influence des conditions extérieures (Lamarckisme) l'espèce acquerrait peu à peu une « potentialité » qui ne se manifesterait que plus tard et brusquement. — Voir E.-L. BOUVIER, Mutations évolutives et transformisme, *Rev. Gén. des Sc.*, 15 juin 1930. Voir aussi CAULLERY, Génétique et Evolution, *Rev. Gén. des Sc.*, 30 oct. 1930.

à tout point de vue comme des « espèces nouvelles », puisqu'elles restent généralement fécondes lorsqu'on les accouple avec l'espèce dont elles sont issues¹.

Quoiqu'il en soit, il résulte de l'ensemble de ces travaux, que les biologistes sont maintenant en possession de moyens qui leur permettent d'agir sur la fréquence des mutations héréditaires; il n'est donc pas exclu qu'on ne puisse en produire un jour qui satisfassent à ce critérium d'infécondité, par lequel on a voulu parfois pratiquement définir et séparer les espèces les unes des autres. Et ce résultat pourrait évidemment être atteint, soit par l'apparition d'une seule mutation de grande amplitude, soit aussi, par des mutations successives, dont les effets s'ajouteraient pour réaliser progressivement un type suffisamment différent du type primitif.

En résumé, il ressort des expériences faites dans les laboratoires de biologie, que *deux agents particulièrement susceptibles de secouer et de transformer les équilibres moléculaires* (la température et la radiation), *se sont montrés en même temps d'une grande efficacité pour augmenter la fréquence d'apparition des mutations héréditaires.*

C'est là, du point de vue où nous nous sommes placé, un fait particulièrement important.

Il semblerait donc en premier lieu que les propriétés de ces gardiens de l'hérédité, auxquels les biologistes ont donné le nom de « gènes », seraient liées aux équilibres moléculaires de la matière vivante qui les constitue.

En second lieu, pour expliquer le fait expérimental de la stabilité des espèces, on est alors conduit à admettre qu'entre certaines limites de température, ces équilibres moléculaires présenteraient un certain degré de stabilité, stabilité qu'il faudrait préalablement vaincre pour passer d'une espèce à une autre.

* * *

¹ Voir à ce sujet: CAULLERY, *Le Problème de l'Evolution*, Paris, 1931, p. 336 à 348. — Nous ignorons si depuis la publication de cet ouvrage, les généticiens ont réussi à obtenir des mutations viables qui soient nettement infécondes avec la souche dont elles sont issues.

Voyons maintenant de plus près, en nous plaçant à ce point de vue, par quel mécanisme, soit la température, soit la radiation, pourraient agir sur les équilibres moléculaires de la matière vivante et notamment sur les germes de la vie.

En premier lieu, l'action d'une *élévation modérée de la température doit en général avoir pour effet de rendre plus instables les équilibres moléculaires qui caractérisent la matière vivante*; et, de ce fait, il semble bien qu'elle doive faciliter la formation de nouvelles configurations moléculaires qui, tout en présentant encore les dissymétries nécessaires au fonctionnement vital, seraient cependant susceptibles de donner naissance à de nouvelles formes vivantes; ces formes nouvelles étant, d'ailleurs, peu différentes de celles dont elles sont issues.

D'autre part, l'*action photochimique* peut, comme nous l'avons vu, *secouer partiellement et transformer les édifices moléculaires, sans élever la plupart du temps de façon notable et dangereuse leur température*. Elle semble donc propre, elle aussi, à produire des mutations nombreuses et peut-être même des mutations de plus grande amplitude que les mutations spontanées; et cela sans risquer, comme l'agitation thermique, de « brasser les édifices moléculaires » et de modifier totalement leurs dissymétries.

On arrive alors à se demander si le moyen le plus efficace, pour produire « artificiellement » des mutations nombreuses et de grande amplitude, ne serait pas précisément d'exposer les organismes (œufs, par exemple) simultanément, d'une part à une température ambiante relativement élevée, mais insuffisante pour compromettre leur développement ultérieur, et d'autre part à une action photochimique sélective, convenablement choisie. Peut-être serait-il possible d'obtenir par cette double action des mutations d'amplitude suffisante pour franchir en une seule mutation le passage d'une espèce à l'autre. On aurait ainsi quelque espoir de réaliser des types viables qui seraient féconds entre eux et ne le seraient plus avec l'espèce dont ils seraient issus. *Mais à cela, seule l'expérience peut donner une réponse satisfaisante.*

En résumé, *soit par l'action d'une élévation modérée de la température qui a pour effet de rendre les équilibres moléculaires*



*de la matière vivante plus instables, soit en agissant plus directement sur ces équilibres par des actions photochimiques, sans passer par l'intermédiaire de l'agitation thermique, on peut modifier dans une certaine mesure, et de façon durable, la structure et la forme d'un être vivant, et ce qui plus est, la structure et la forme de sa descendance*¹.

Remarque. — De l'ensemble des considérations qui précèdent, on pourrait, semble-t-il, tirer argument en faveur de « *la théorie moléculaire de la vie* »; théorie selon laquelle, chaque forme vitale aurait à son origine une molécule de constitution et de structure déterminées. Cette structure étant très complexe, mais présentant cependant vis-à-vis de la température une certaine stabilité (stabilité qu'il faudrait préalablement vaincre pour passer d'une espèce à une autre).

Il ne nous appartient pas d'apprécier les arguments que les biologistes peuvent mettre en avant pour ou contre une telle théorie, appuyée d'ailleurs récemment par des savants de grande valeur.

Du point de vue physicochimique, on pourrait admettre aussi qu'en agissant sur les atomes et les molécules de la matière vivante, la température et la radiation ont pu provoquer de nouvelles associations micellaires correspondant aussi à de nouvelles formes vitales (*théorie micellaire de la vie*). Cette hypothèse, tout en demeurant possible, nous semble cependant moins directe que la précédente.

La durée possible de l'évolution vitale.

Quoiqu'il en soit, et quelles que puissent être les causes de l'évolution vitale, un fait semble nettement établi, c'est que

¹ La radiation et l'élévation de température ne sont pas assurément les seules causes capables d'agir sur la fréquence des mutations biologiques; il semblerait en effet, du point de vue où nous sommes placé, que toute cause susceptible d'agir sur la constitution moléculaire de la matière vivante, sans la détruire, devrait en même temps présenter des possibilités d'action sur la fréquence de l'apparition des mutations, tel, par exemple, les variations de pression, l'état d'ionisation de l'atmosphère, la présence d'un champ électrique ou magnétique intense, etc.

les transformations qui l'accompagnent ne procèdent que par petites étapes et dans tous les cas *avec une extrême lenteur*.

Dès lors, en présence de cette extrême lenteur, on est en droit de se demander — et cela aussi bien du point de vue des doctrines lamarkiennes, darwiniennes, que de celui des mutations — quelle devrait être la durée nécessaire minimum pour que l'évolution vitale ait pu produire les différences que l'on constate aujourd'hui entre les diverses espèces, ou entre celles dont la paléontologie nous a révélé l'existence aux diverses périodes géologiques.

Malheureusement, les observations faites sur les mutations héréditaires ne datent que de quelques décades et ne portent, en outre, que sur des changements de faible amplitude. Il serait donc bien malaisé, même en se permettant les extrapolations les plus hardies, de vouloir en déduire une valeur « même approximative » de la durée qu'a pu nécessiter l'évolution vitale actuelle.

Mais si le problème ne peut guère être abordé sous cette forme, on peut cependant lui donner un autre aspect et rechercher, en s'appuyant sur les données que nous fournissent l'astronomie et la géophysique, *depuis combien d'années les conditions extérieures semblent devoir être compatibles avec la vie, à la surface de notre globe*.

Or, l'histoire de la science géologique nous montre que l'évaluation que l'on a fait de la durée probable des principales périodes de l'évolution de notre globe, a toujours été en augmentant, au fur et à mesure que nos connaissances scientifiques se sont précisées ¹.

Au début du XVIII^e siècle, Buffon, basant ses calculs sur la durée de formation des dépôts d'argile, évaluait à 74.000 ans environ, l'âge de notre globe.

En 1859, Darwin estimait qu'il aurait bien fallu cent mille ans

¹ Voir à ce sujet Elie GAGNEBIN, « La durée des temps géologiques ». Leçon inaugurale du cours de géologie stratigraphique à l'Université de Lausanne. *Bulletin de la Soc. vaudoise des Sciences naturelles*, vol. 58, n° 234, 1934. Indépendamment de ces considérations générales, on trouvera là un résumé de la méthode « du plomb » qui semble avoir fourni les données les plus certaines.

pour que la faune du cambrien produisit les animaux actuels; mais ces cent mille années paraissent, aux yeux des contemporains de Darwin, une durée d'une grandeur invraisemblable.

Plus tard Lord Kelvin, en se basant sur la vitesse présumée du refroidissement de la terre, arrivait au chiffre de 20 à 40 millions d'années.

Aujourd'hui, en cherchant à déterminer l'âge des roches, par l'étude de la teneur en plomb des minéraux radioactifs, c'est *un milliard et demi à deux milliards d'années* qu'il faut attribuer à l'âge de notre globe. Quant à l'évolution des êtres vivants, si on l'estime par l'âge des terrains, où l'on a trouvé les derniers vestiges d'organismes fossiles, on arriverait à la conclusion qu'environ 600 millions d'années avant le cambrien, soit au total *plus d'un milliard d'années*, la vie existait déjà à la surface de notre globe ¹.

Mais il se pourrait, d'ailleurs, que ce ne soit là encore qu'une limite inférieure, car dans les terrains plus anciens, toute trace d'organisme peut avoir disparu par suite des lentes et constantes transformations qui se produisent toujours à la longue, même à température relativement basse; la vitesse d'une réaction chimique n'est, en effet, ainsi que nous l'avons vu précédemment, jamais infiniment lente. Il en résulte que la vie peut avoir été très développée même bien avant le cambrien, lors même qu'aucune trace n'en subsisterait plus actuellement pour nous.

Que conclure de tout ceci ? Rien, sinon *qu'au fur et à mesure que s'allonge l'évaluation de la durée des diverses périodes géologiques, la possibilité d'une « lente » évolution vitale va en augmentant*, et cela qu'il s'agisse de transformations progressives darwiniennes ou lamarkiennes ou de brusques transformations par mutations.

Mais, indépendamment des considérations qui précèdent, on peut aussi supposer que dans les premiers âges de l'apparition de la vie — ou même à diverses périodes de l'histoire de notre globe — les conditions extérieures ont pu être différentes des conditions actuelles et qu'elles furent alors plus propices à l'apparition des mutations héréditaires (Caullery).

¹ E. GAGNEBIN, *loc. cit.*

En particulier, on peut supposer que la température ambiante, tout en demeurant compatible avec le phénomène vital, était peut-être plus élevée; et cela soit que le refroidissement de la terre fût moins avancé, soit aussi, comme le prétendent quelques géologues, qu'il se soit produit du fait du dégagement de chaleur dû à la radioactivité interne des phénomènes thermiques périodiques dans l'écorce terrestre; phénomènes auxquels il faudrait attribuer la périodicité des « orogénèses », c'est-à-dire des plissements créateurs des chaînes de montagnes; cette périodicité étant de l'ordre de 200 millions d'années. Il y a là, comme on le voit, bien des inconnues et par conséquent aussi bien des possibilités ¹.

En second lieu, on peut aussi supposer que la température de la surface solaire a pu, à une époque où la vie était déjà possible sur notre globe, être autrefois supérieure à sa température actuelle, et qu'alors la proportion de l'énergie photochimique (radiations violettes et ultra-violettes) était, elle aussi, plus grande qu'actuellement; d'où intensification de l'évolution possible par mutations.

* * *

¹ Pour expliquer la périodicité des orogénèses on a supposé, par exemple, que la chaleur dégagée par les transformations radioactives à l'intérieur du globe, ne pouvait s'échapper que difficilement à cause de la mauvaise conductibilité de l'écorce terrestre; qu'en conséquence cette chaleur devait s'accumuler à l'intérieur et finissait par amener la fusion de la partie interne de l'écorce terrestre; que cette fusion amenait à son tour une augmentation de la facilité de transmission de la chaleur par suite de la diminution de l'épaisseur de l'écorce terrestre. Puis, l'excès de chaleur s'étant dissipé, la recristallisation interne d'une partie de l'écorce se produirait de nouveau et, avec elle, réapparaîtrait la mauvaise transmission de la chaleur; le cycle s'effectuant à peu près en 200 millions d'années, et correspondant aux cycles supposés de l'orogénèse.

Il est extrêmement délicat de vouloir discuter ces suggestions du point de vue strictement physique; les données numériques indispensables à cette discussion faisant presque totalement défaut. Nous n'en retenons qu'un fait: *la possibilité qu'il y ait eu à certaines époques de l'histoire du globe des conditions de température qui, tout en restant compatibles avec le phénomène vital, aient pu cependant être différentes et parfois plus favorables à l'apparition des mutations que l'époque actuelle.*

En résumé, pour les deux raisons que nous venons de rappeler — température ambiante supérieure et radiation photochimique plus intense — l'évolution par mutations héréditaires aurait pu à certaines époques se précipiter; cette évolution plus rapide aurait pu prendre parfois et dans une certaine mesure, le caractère d'une période de création. Puis, peu à peu, au fur et à mesure que la température ambiante se serait abaissée ou que l'intensité de la radiation photochimique aurait diminué, les mutations héréditaires seraient devenues plus rares et de moindre amplitude; et nous serions entrés de la sorte progressivement dans l'ère actuelle qui aurait le caractère *d'une ère de plus grande fixité des espèces*.

Rien ne prouve d'ailleurs que cette ère de fixité relative ne soit pas suivie un jour d'une période d'évolution plus active, si réellement, comme nous l'annoncent les géologues, les plissements orogéniques de l'écorce terrestre ont un caractère périodique en relation avec les phénomènes thermiques qui semblent devoir se passer à l'intérieur de notre globe par suite des transformations radioactives internes.

Mais pour juger de la valeur scientifique de ces hypothèses qui, d'ailleurs, n'ont rien de contraire aux faits observés jusqu'ici, il conviendrait avant tout de *mieux connaître les conditions qui font varier la fréquence et l'amplitude des mutations* et de rechercher par des expériences de laboratoire, dans quelle mesure cette fréquence et cette amplitude dépendent de l'intensité, de la nature des radiations, de la température ambiante, etc.; en d'autres mots, mieux connaître toutes les conditions susceptibles d'agir sur les mutations.

C'est là, comme bien l'on pense, une tâche considérable et seules les longues, patientes et méthodiques recherches qu'effectuent dans ce sens les laboratoires de biologie pourront, cela va sans dire, contribuer à élucider un tel problème avec quelque certitude.

Mais, de toute façon, la connaissance des conditions qui agissent sur l'amplitude et la fréquence des mutations serait, on le conçoit, d'une importance capitale car elle permettrait peut-être même d'aborder un jour expérimentalement



problème fondamental de la possibilité du passage de la matière non vivante à la matière vivante ¹.

L'avenir de l'évolution vitale.

Si le passé de la vie paraît reculer toujours plus, au fur et à mesure que nos connaissances scientifiques se précisent, il semble en être de même de son avenir.

Les énormes quantités de chaleur qui entrent en jeu dans les transformations intra-atomiques ont, en effet, remis complètement en question le problème de l'entretien de la chaleur solaire, dont la vie sur notre globe semble dépendre directement. Du même coup, nous avons eu la satisfaction de voir reculer de plus en plus cette terrible échéance de refroidissement et d'immobilité dont nous menaçait le second principe de la thermodynamique. L'énergie intra-atomique de la masse solaire, si elle pouvait se convertir intégralement en chaleur, suffirait, en effet, à entretenir le rayonnement actuel pendant près de dix trillions d'années. Et rien ne nous prouve qu'il ne puisse en être ainsi, car nous ignorons tout de ce qui peut se passer aux températures et aux pressions qui semblent devoir régner à l'intérieur de l'astre du jour. Si nous ne sommes pas renseignés autant que nous le voudrions, nous sommes du moins rassurés.

¹ Si l'homme parvenait un jour à produire « à volonté » des mutations de grande amplitude, il deviendrait alors un « demi-créateur ». Il ne serait plus alors absurde de chercher, par exemple, à revivifier du protoplasma que l'on aurait préalablement stérilisé par l'action d'une élévation modérée de la température. En soumettant alors cette matière stérilisée, précisément aux conditions qui donnent le plus de fréquence et d'ampleur aux mutations héréditaires, peut-être aurait-on quelque espoir de voir se réaliser un rêve auprès duquel pâlirait certainement le rêve doré des anciens alchimistes. Mais pour produire « à volonté » des mutations déterminées, il faudrait que leur probabilité d'apparition devint presque une certitude ; or les mutations semblent bien participer au caractère statistique des fluctuations sur lesquelles nous n'avons pas, semble-t-il, d'action individuelle. De même que, dans l'espèce humaine, nous sommes incapables de produire à volonté l'un ou l'autre sexe, bien que statistiquement les naissances masculines et les naissances féminines apparaissent approximativement en nombre égal.

Mais d'autres causes peuvent, semble-t-il, agir pour accélérer le refroidissement de notre globe.

Les astronomes nous font observer qu'au fur et à mesure que le Soleil se refroidit, il perd de sa masse¹, et il en résulterait, par les lois de la gravitation, que la terre s'éloignerait de la source qui la réchauffe, d'un mètre par siècle. De ce côté, il semble bien aussi que nous puissions dormir tranquilles, car d'après les calculs de Sir James Jeans, nous pouvons compter encore sur cent trillions d'années avant que, du fait du refroidissement, la vie ne cesse d'être possible à la surface de notre globe.

Vous pensez bien que, d'ici là, il se passera certainement bien d'autres choses, et qu'en particulier la science ne ressemblera plus du tout à ce qu'elle est actuellement; nous n'avons donc pas à nous en préoccuper².

Mais une autre cause encore aurait pu, au cours des âges, modifier les conditions de la vie sur notre globe. C'est, paraît-il, le freinage qu'exercent les marées sur le mouvement de rotation de la terre, auquel nous devons l'alternance des jours et des nuits. Or, d'après les calculs d'Henri Poincaré et de O. H. Darwin la durée de la rotation de la terre aurait été de 5 heures 36 minutes à l'époque où la lune se serait détachée de la terre; et, depuis, la durée du jour aurait alors été continuellement en augmentant jusqu'à 24 heures. Mais combien se passera-t-il encore de milliers de siècles jusqu'à ce que le jour ait une durée seulement double ?

D'ailleurs, il ne nous appartient pas de dire dans quelle

¹ Cette perte de masse étant supposée non compensée par l'apport d'aérolithes pour lesquels le Soleil demeure un centre d'attraction.

² Pour rendre plus saisissantes les conséquences qui résultent de ce calcul, Sir James Jeans dit en substance: si nous représentons l'âge actuel de notre globe par la hauteur de l'obélisque de Louksor, l'épaisseur d'une pièce de monnaie placée au sommet, représenterait la durée de l'existence de l'humanité de son origine à nos jours; et celle d'un timbre-poste collé sur la pièce de monnaie, celle de l'humanité civilisée. Quant aux cent trillions d'années pendant lesquelles la vie serait possible pour nous à la surface de notre globe, elles correspondraient à une hauteur égale à celle du Mont-Blanc qu'il faudrait ajouter à celle de l'obélisque de Louksor.

mesure l'alternance plus ou moins rapide des jours et des nuits peut faciliter ou retarder l'évolution des organismes vivants. Nous savons d'autre part que la vie peut exister sans la lumière solaire et que dans les profondeurs de l'océan de nombreuses espèces vivent dans une nuit en quelque sorte éternelle¹.

De toutes façons, il semble bien que nous n'ayons pas à nous préoccuper des causes physiques extérieures qui pourraient dans l'avenir compromettre l'évolution vitale à la surface de notre globe; elles sont à échéance trop lointaine pour qu'il y ait lieu, croyons-nous, de les prendre en trop sérieuse considération.

En résumé, il résulte de tout ce qui précède qu'il y a de fortes présomptions pour admettre que l'évolution vitale se poursuit depuis plus d'un milliard d'années.

En second lieu, il n'est nullement impossible, nous dirons même il n'est pas improbable, que cette évolution n'en soit qu'à ses débuts. Si lente qu'elle nous paraisse, elle semble avoir encore devant elle une durée telle, qu'elle serait susceptible de produire chez les êtres vivants des transformations dont nous ne pouvons nous faire aucune idée. Nous voulons croire que ces transformations seront heureuses pour la vie dans son ensemble et tout particulièrement pour celle de notre pauvre humanité.

Genève, 27 janvier 1936.

¹ On sait en effet que toute trace appréciable de lumière disparaît, même par les jours les plus lumineux, à une profondeur comprise entre quatre cents et cinq cents mètres.