Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 58 (1933-1935)
Heft: 234

Artikel: La durée des temps géologiques
Autor: Gagenbin, Elie
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-272172

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN DE LA SOCIETE VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES
Vol. 58 1934 N° 234

La durée des Temps géologiques

PAR

Elie GAGNEBIN

(Leçon inaugurale du cours de géologie stratigraphique, prononcée le 16 mai 1933 à l'Université de Lausanne. Communiquée à la Société vaudoise des Sciences naturelles dans sa séance du 8 novembre 1933.)

---

1. — *Introduction.*

L'idée que la Terre a son histoire, comme l'humanité, est relativement récente.

Pourtant certains philosophes grecs, depuis Xénophane de Colophon, ont reconnu déjà que la mer avait dû s'étendre sur la Sicile, sur Malte, sur l'Egypte. Bien auparavant, les récits du déluge évoquent l'image de véritables phénomènes géologiques. Mais les anciennes cosmogonies — sinon les philosophes — ne connaissent guère qu'un passé humain. Et Aristote, en établissant sur des principes métaphysiques qui semblaient indubitables la fixité des espèces animales, a fait paraître absurde, pendant vingt siècles, la notion d'une réelle histoire, antérieure à l'homme, de la terre et du monde vivant.

A la Renaissance, cette idée est lentement venue, ou revenue au jour. Elle s'affirme chez Descartes, et surtout chez un de ses disciples, Nicolas Sténon; mais son petit livre passe inaperçu. Ce n'est en somme qu'au XVIIIe siècle que l'idée s'affermit et se diffuse. Lorsque Buffon publie, en 1778, *Les Epoques de la Nature,* il se tient pour un grand novateur. Et c'est Cuvier, dans les dernières années du siècle, qui donne — sans le vouloir — le coup de mort à la doctrine de la fixité des espèces, en prouvant qu'il régna sur la terre, bien avant la naissance de l'homme, plusieurs faunes différentes,

successives. Il montre qu'il fut une période où, des vertébrés, les poissons seuls existaient, puis une autre où l'on trouve avec eux des reptiles, et que les mammifères sont plus récents. Il montre que les formes de mammifères du gypse de Montmartre sont autres que celles des terrains d'alluvion, autres encore que les formes actuelles. Et comme il énonçait aussi les principes de l'anatomie comparée, c'était fonder deux sciences nouvelles, la paléontologie et la stratigraphie, étude de l'histoire de la terre.

C'est donc au XIXe siècle — le siècle de l'histoire — que s'est précisée la notion du passé de la terre; que les géologues, après de longs tâtonnements, des discussions, des recherches sans cesse reprises, ont réussi à définir, dans ce passé, des périodes et des ères, à caractériser chaque époque par sa faune, marine et terrestre, sa flore, par les phénomènes qui s'y sont produits. On a pu établir des corrélations d'équivalence entre les terrains des divers pays, des divers continents. Prouver, par exemple, que tels dépôts glaciaires de l'Australie sont contemporains de formations désertiques subtropicales de l'Europe, et de calcaires marins de l'Himalaya. On a pu reconstituer pour chacune de ces périodes, avec plus ou moins d'exactitude, la paléogéographie. On y voit maintenant se dérouler, comme dans l'histoire humaine, des événements qui s'enchaînent les uns aux autres, se conditionnent, se répercutent.

Comme dans l'histoire humaine aussi, bien des points restent obscurs, beaucoup de corrélations douteuses. Mais on y travaille : on fouille, on débat, on critique les interprétations. Chacun apporte sa contribution, et l'espoir est vivace en tous d'étendre, d'assurer peu à peu la connaissance des temps géologiques.

2. — *Anciennes méthodes pour évaluer la durée.*

Mais quelle est la durée de ces périodes ? Combien faut-il de siècles pour que s'édifie une chaîne de montagnes, et qu'elle se démolisse ? pour que le glacier du Rhône avance jusqu'à Lyon ? Combien de temps les colonies de coraux ont-elles mis à construire une des parois calcaires du Jura ?

La question s'est posée dès l'origine, je veux dire dès le XVIIIe siècle. Buffon, en même temps qu'il essayait de distinguer 6 ou 7 « époques » dans l'histoire de la terre, tentait d'en évaluer la durée — et sans doute fut-il un des premiers.

Il déclare que la Terre, comme planète distincte, s'est formée il y a 74 000 ans; que 30 000 ou 35 000 ans plus tard, la mer a recouvert tous les continents; qu'elle s'est retirée et que les animaux terrestres ont été créés il y a 15 000 ou 20 000 ans.

Par quels calculs Buffon arrive-t-il à ces chiffres ? Relisons-le, car c'est la même méthode qui va servir presque jusqu'à nos jours :

Le seul moyen est..., dit-il, de se faire des aperçus sur le nombre des siècles qu'il a fallu pour produire tous les animaux à coquilles dont la terre est remplie, ensuite sur le nombre encore plus grand des siècles qui se sont écoulés pour le transport et le dépôt de ces coquilles et de leurs détriments, enfin sur le nombre des autres siècles subséquents, nécessaires à la pétrification et au desséchement de ces matières...

Donnons un exemple, ajoute-t-il; cherchons combien il a fallu de temps pour la construction d'une colline d'argile de mille toises de hauteur. Les sédiments successifs des eaux ont formé toutes les couches dont la colline est composée depuis la base jusqu'à son sommet. Or, nous pouvons juger du dépôt successif et journalier des eaux par les feuillets des ardoises; ils sont si minces qu'on peut en compter une douzaine dans une ligne d'épaisseur [1]. Supposons donc que chaque marée dépose un sédiment d'un douzième de ligne d'épaisseur, c'est-à-dire d'un sixième de ligne chaque jour, le dépôt augmentera d'une ligne en six jours, de six lignes en trente-six jours, et, par conséquent, d'environ cinq pouces en un an; ce qui donne plus de quatorze mille ans pour le temps nécessaire à la composition d'une colline de glaise de mille toises de hauteur... [2]

Voilà qui est fort bien dit et très justement calculé. Mais qui prouve qu'un feuillet d'argile d'un douzième de ligne (un peu moins de 0,2 mm.) se dépose à chaque marée ? Quant à se faire des aperçus sur le nombre des siècles qu'il a fallu pour produire tous les animaux à coquilles...

On voit que le raisonnement pèche par l'incertitude des données mêmes sur lesquelles il prétend s'exercer. C'est la condamnation de la méthode.

Comme on n'en a pas trouvé d'autre pendant longtemps, cette recherche fut à peu près délaissée. Plutôt que d'énoncer des chiffres fantaisistes, les géologues pensaient qu'il vaut mieux s'en tenir aux *temps relatifs,* sans s'occuper de valeur

[1] Une ligne mesurait 2,25 mm. ; un pouce comptait 12 lignes et la toise 72 pouces. Mille toises font 1949 m.

[2] *Les époques de la nature,* fin de la première époque.

absolue. Ce qui nous importe surtout, c'est de savoir que tel événement géologique s'est passé après celui-ci et avant celui-là, en même temps que dans telle autre partie du monde la situation était telle ou telle. Ce qui nous intéresse, c'est la succession des phénomènes et leur harmonieuse coordination. La durée réelle nous échappe, et déjà par l'impuissance de notre imagination : nous ne pouvons pas nous représenter 100 000 ans, 500 000 ans... Telle était l'attitude de la plupart des géologues, il y a seulement quelques années. Les deux derniers grands traités de stratigraphie parus en France, celui de Haug en 1911, celui de Gignoux en 1926, qui ont tant enrichi cette science, ne font même aucune allusion à la durée possible de la période carbonifère ou du Crétacé. Et dans son ouvrage déjà classique sur les fondements et les méthodes de la paléogéographie, en 1915, Edgar Dacqué, de Munich, conclut qu'il serait sans doute fort intéressant de connaître la durée des périodes géologiques, mais que toute possibilité nous en échappe actuellement.

Pourtant les géologues anglais et américains, qui ont l'esprit plus quantitatif que nous, qui aiment les chiffres, même illusoires, n'ont jamais abandonné cette recherche. Sans relâche, avec une obstination et une patience admirables, ils ont mesuré l'épaisseur des séries sédimentaires, dénombré les couches, supputé quel temps chacune d'elles avait bien pu prendre pour se déposer. Depuis Phillips en 1839, Huxley en 1869, Haughton en 1871 et en 1878, le grand Dana en 1874, Wallace en 1881 et en 1892, Archibald Geikie en 1892 et en 1899, Charles Walcott en 1893, Sollas en 1895, en 1900 et 1909, les travaux sur ce sujet se succèdent sans interruption jusqu'à ceux de Herbert Woodward en 1926 et de Charles Schuchert en 1931.

Hélas, plus les calculs se multiplient, moins les résultats concordent. Et la racine de l'incertitude est toujours la même: combien faut-il de temps, en moyenne, pour que se dépose un pied d'argile, ou de calcaire, ou de grès ? Aucune observation, aucune expérience ne peut nous l'enseigner, car on sait bien que la sédimentation varie suivant les circonstances: en un jour de débâcle, un torrent charrie et dépose plus de sédiments qu'en une année de calme.

Une célèbre réussite est à noter, pourtant, dans ce domaine: celle du suédois Gerald de Geer. Il montra [1] qu'une série de

[1] G. DE GEER : *Geochronologie der letzten 12 000 Jahre*, Geol. Rundschau, III. Bd, p. 457-471, 1912.

couches argileuses très minces, alternativement claires et sombres, abandonnées par la calotte glaciaire en retrait, étaient des dépôts annuels, des *varves* comme il les appelle. En les comptant avec grand soin il put, après plus de 30 ans d'efforts, en 1909, évaluer à 12 000 ou 15 000 années le temps écoulé depuis que les derniers glaciers scandinaves ont quitté le rivage méridional de la péninsule. Mais c'est là un succès isolé.

On a tenté d'autres méthodes qui semblaient plus sûres. Mayer-Eymar, de Zurich, en 1884, à cherché à établir une corrélation entre la précession des équinoxes et les cycles sédimentaires. J. Joly, de Dublin, en 1899, espérait calculer « l'âge de l'océan » par sa salure, en mesurant combien les fleuves lui apportent annuellement de matière minérale. Mais ces évaluations se fondent sur des hypothèses invérifiables; ce qu'elles admettent au départ est aussi mal connu que ce qu'elles prétendent trouver.

Par contre, de grands espoirs s'éveillèrent lorsque Lord Kelvin proposa une méthode astronomique, basée sur la vitesse de refroidissement du globe. Il calculait ainsi depuis combien de temps la croûte terrestre est en état de porter des êtres vivants, et arrivait, en 1871, au chiffre de 100 millions d'années. Mais lui-même, en 1889, refaisant ses calculs sur des données légèrement différentes, c'est à 20 ou 40 millions d'années qu'il devait conclure.

Ces divergences, dans la science la plus précise qui soit, étaient faites pour justifier le scepticisme. Et bientôt une découverte vint radicalement ruiner la méthode de Lord Kelvin, ce fut celle de la radioactivité, de la chaleur qu'elle dégage. Dès lors, on n'est plus sûr du tout que la terre se refroidisse...

Nous voici donc aussi peu avancés, semble-t-il, qu'à l'époque de Buffon. Pourtant non: un résultat s'était peu à peu dégagé de toutes ces recherches, c'est que l'unité de temps, pour les périodes géologiques, n'était ni le siècle, ni même le millénaire, mais bien le *million d'années*. Seulement s'agissait-il de dix, de vingt ou de cent, nul ne pouvait le dire.

Et cependant, dès qu'on y pense, le besoin est urgent pour la stratigraphie d'une mesure des durées géologiques. Les chiffres dépassent notre imagination: mais l'imagination s'adapte, s'habitue. Les physiciens et les astronomes nous en donnent l'exemple. Il ne s'agit pas de « se représenter » un million d'années. Mais bien de pouvoir vérifier les corrélations lointaines et les simultanéités du passé. Certains géologues ont opposé à la succession des événements, au « temps relatif »

comme ils disent, la recherche chimérique d'un « temps absolu ». Mais il ne faut pas confondre les termes: notre question n'a rien à voir avec la théorie de la relativité. Nous ne revendiquons pas une horloge universelle, mais une simple horloge terrestre; disons même, plus modestement et plus justement: un sablier — pourvu qu'il coule régulièrement.

Le salut par bonheur, comme presque toujours, est sorti de la cause même de la ruine: de la radioactivité.

3. — *La méthode du plomb.*

C'est Henri Becquerel qui découvrit le phénomène de la radioactivité, mais c'est Rutherford et Soddy qui établirent qu'il était dû à la désintégration du noyau atomique de certains éléments. On connaît actuellement 3 séries principales de corps radioactifs :

1. Celle de l'*Uranium*, qui se désintègre en 14 corps successifs, dont le radium, pour aboutir à un isotope du plomb qu'on appelle Radium G et dont le poids atomique est de 206, plus 8 atomes d'Hélium :

$$U_I \longrightarrow Ra \longrightarrow Pb_U\ 206\ (\text{ou } Ra_G) + 8\ He$$

2. Celle de l'*Actinium*, qui dérive probablement d'un isotope de l'uranium, l'Actino-Uranium, et qui après une succession de 11 états différents se transmute en un plomb dont le poids atomique est de 207 :

$$?AcU \longrightarrow Ac \longrightarrow Pb_{Ac}\ 207\ (\text{ou } Ac_D) + 7 \text{ ou } 8\ He$$

3. Celle du *Thorium*, qui passe par 10 états de désintégration graduelle et donne un plomb au poids atomique de 208 :

$$Th \longrightarrow Pb_{Th}\ 208\ (\text{ou } Th_D) + 6 \text{ ou } 7\ He$$

La vitesse de désintégration de l'U_I est assez exactement connue; avec moins de précision celles de l'Ac et du Th. Connaissant cette vitesse, il est naturellement possible de calculer la masse de Pb 206 et d'He née de 1 gr. d'U_I pendant un temps défini. Et inversement, de calculer le temps qu'il a fallu pour que 1 gr. d'U produise une masse déterminée de Pb 206 et d'He.

On comprend ainsi qu'on puisse calculer l'âge d'un minéral contenant de l'U: en principe, il suffit de mesurer la proportion actuelle du Pb ou de l'He produits et de l'U qui reste; puis de multiplier ce résultat par une constante dépendant de la vitesse de désintégration. On trouvera ainsi le temps depuis lequel l'U s'est constitué en minéral en se combinant à d'autres éléments, donc l'âge du minéral.

Par exemple, les méthodes physiques ont permis d'établir que 1 gr. d'U_I produit, en 1 million d'années, une masse de Pb 206 d'environ 1/7.600 gr. (= 1/C). L'âge d'un minéral uranifère, en millions d'années (= m. a.), sera obtenu par la relation

$$\frac{Pb206}{U_I} \cdot C$$

Mais l'U ne se trouve pour ainsi dire jamais seul. Il est presque toujours accompagné d'une certaine proportion, souvent très faible, d'Ac et de Th, avec leurs produits de désintégration. L'Ac ne fausse pas les calculs, parce que sa vitesse de désintégration (ou constante radioactive) est sensiblement égale à celle de l'U, et que la proportion de leurs produits, dans les minéraux, est presque constamment la même: 3% d'Ac_D par rapport à Ra_G.

Tandis qu'il faut tenir compte de la teneur en Th et de sa vitesse de désintégration. La formule ainsi complétée est :

$$t = \frac{Pb}{U + kTh} \cdot C$$

où k est le rapport de la constante radioactive du Th à celle de l'U_I

$$k = \frac{\lambda_{Th}}{\lambda_U}$$

Comme on ne connaît pas très exactement la vitesse de désintégration du Th, la valeur de k n'est pas entièrement sûre. On a admis 0,38, puis 0,25; les dernières corrections de Kovarik imposent maintenant 0,36. Vu la très faible proportion du Th, en général, ces variations n'ont pas grande importance.

De même, on discute encore la valeur de la constante C. Lawson, en 1927, indiquait 7.400; Kovaric, en 1931, prouve qu'il faut préférer 7.600.

Enfin Holmes et Lawson ont montré récemment qu'il fallait compléter la formule par un terme correctif, pour tenir

compte des variations avec le temps de la proportion d'U_1 et de Th dans le minéral, puisque l'U se désintègre environ 3 fois plus vite que le Th.

En définitive, l'âge du minéral sera :

$$t = \left(\frac{Pb}{U + 0{,}36Th} \cdot 7600\right) \times \left(1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{3}\right) \text{ millions d'années.}$$

$$\text{où } x = 1{,}155 \frac{Pb}{U + 0{,}36Th}$$

Etant données ces incertitudes sur la valeur des constantes, on se borne en général à indiquer pour un minéral le résultat de l'analyse, c'est-à-dire la *teneur en plomb* :

$$\frac{Pb}{U + kTh}$$

en mentionnant la valeur admise pour k. On a l'*âge approximatif* en multipliant par C = 7600, et des tables ou des graphiques donnent l'*âge corrigé* suivant la formule ci-dessus [1].

Tels sont les principes de la *méthode du plomb* pour évaluer l'âge d'un minéral radioactif. Cette méthode se heurtait à de grandes difficultés d'analyses, aussi a-t-on préféré, au début, mesurer la quantité d'Hélium produit par la désintégration.

C'est Strutt (Lord Rayleigh) qui avait créé cette *méthode de l'hélium* et qui l'a pratiquée le premier, suivi bientôt par Joly. Mais ils n'ont eu que des déboires: les résultats ne concordaient jamais entre eux. Et ces contradictions, bien entendu, ne faisaient qu'encourager les sceptiques. Strutt a bientôt reconnu lui-même que l'He s'échappait en partie, et en proportions très variables, des minéraux radioactifs. La quantité qu'on y trouve ne peut donc servir de base à aucun calcul.

Joly et Rutherford ont essayé aussi d'évaluer l'âge d'une roche d'après des auréoles colorées (*halos pléochroïques* ou *radiohalos*) que l'on trouve dans certains minéraux (biotite, hornblendes, cordiérites) autour de particules très petites, généralement de zircon. Indépendamment l'un de l'autre, en 1907, Joly et Mügge avaient montré qu'elles étaient dues au rayonnement α de substances radioactives. Malheureusement, l'inten-

[1] Voir l'ouvrage capital : *The Age of the Earth*, Bulletin of the National Research Council, n° 80, Washington 1931.

sité de ces halos est à la fois fonction du temps et de la quantité d'éléments radioactifs contenus dans la particule centrale; or cette quantité est si petite qu'aucun moyen ne permet de la mesurer. Il faut alors la supposer et l'on rentre dans le domaine des évaluations fantaisistes.

4. — *Difficultés de cette méthode.*

La *méthode du plomb* est donc la seule qui résiste à la critique. Et la critique ne lui a pas été ménagée. On s'est demandé d'abord si la vitesse de désintégration des éléments radioactifs n'avait pas varié au cours des temps géologiques; si l'extrapolation à des milliers de siècles, de mesures physiques effectuées depuis trente ans, n'était pas bien douteuse. Mais aucune action physique ou chimique réalisable ne peut modifier le cours de la radioactivité. Seule en serait capable une concentration d'énergie dont on ne trouve trace à aucun moment de l'histoire de la terre. Jeans a calculé qu'il y faudrait des températures supérieures à 3 milliards de degrés. Enfin, en 1928, Keer-Lawson a pu montrer, par ses études sur les radiohalos, que le rapport entre la vitesse de désintégration de l'U et celle du Th était au Précambrien la même qu'actuellement.

La *méthode du plomb* est donc, en principe, valable, et son extrapolation dans le temps aussi légitime que celles de l'astronomie dans l'espace. Elle nous fournit enfin ce « sablier géologique » attendu depuis 150 ans.

Mais en pratique elle rencontre des difficultés et demande des précautions considérables. D'abord, il est délicat de séparer quantitativement par analyse les 3 isotopes du plomb, Ra_G 206, Ac_D 207 et Th_D 208. Et plus délicat encore d'en distinguer le plomb « ordinaire » [1], dont le poids atomique est 207,20. Il faut donc s'assurer avec la plus grande minutie que du plomb ordinaire n'est pas associé au minéral radioactif. Et ce n'est pas facile.

Il existe dans la nature deux sortes principales de minéraux radioactifs :

1. La *pechblende*, qui est probablement un uranate d'ura-

[1] Les analystes désignent par ce terme le plomb dont on ne sait pas s'il est d'origine radioactive. C'est un mélange des 3 isotopes indiqués ici. Ajoutons que le spectographe d'Aston permet actuellement la distinction précise de ces isotopes.

nium associé à un oxyde (peut-être U_3O_8) ; cryptocristalline ou amorphe, généralement hydratée, elle est très pauvre en Th et en terres rares.

2. L'*uraninite*, nom générique pour tous les oxydes d'U cristallisés, cubiques. La *thorianite* (ThO_2) y est presque toujours mêlée à l'*ulrichite* (UO_2) et les terres rares y sont en appréciables proportions.

La pechblende est le principal minerai d'U, le plus répandu. Mais elle est presque toujours associée à de la galène. Il est dès lors à peu près impossible d'y déterminer à coup sûr la quantité de plomb vraiment issue de l'U présent. Aussi toutes les mesures basées sur des analyses de pechblendes sont-elles sujettes à caution.

L'uraninite, par contre, est généralement liée aux pegmatites, dépourvues de plomb ordinaire. Goldschmidt a même montré que l'oxyde de plomb, PbO_2, ne pouvait pas exister en mélanges isomorphes avec UO_2, car leurs réseaux cristallins, quoique l'un et l'autre cubiques, sont de deux types différents et incompatibles.

Seules peuvent donc servir de base au calcul du temps les analyses faites sur les uraninites et leurs variétés. Encore est-il essentiel que ces minéraux n'aient subi aucune altération ni aucun apport de silice secondaire. La silice de substitution diminue la quantité de plomb; l'altération, en général, diminue la proportion du Th_D et augmente celle du Ra_G. L'une et l'autre faussent les calculs.

Moyennant toutes ces précautions et une critique rigoureuse de chaque résultat, la méthode du plomb nous apporte actuellement un moyen sûr de déterminer l'âge d'un minéral radioactif, presque toujours inclus dans un filon de pegmatite.

Est-ce réellement l'âge de la mise en place du filon? On en peut parfois douter. Kirsch [1] cite le cas des pegmatites de Moos, près d'Oslo, la roche la plus souvent étudiée à ce point de vue, et dont les résultats, sur une cinquantaine d'analyses, varient pour la teneur en plomb de 0.111 à 0,150 (c'est-à-dire, d'après la formule corrigée, de 795 à 1050 millions d'années, m. a.). Il admet que ces pegmatites se seraient formées par injections successives s'échelonnant sur une durée supérieure à 250 m. a ! Holmes par contre, le plus grand spécialiste sans doute de la question, estime qu'on ne peut se fier à toutes ces analyses et n'en retient que deux valeurs :

[1] Gerhard Kirsch : *Geologie und Radioaktivität*. Springer, Wien 1928. Ouvrage très important.

0,125 et 0,135 (correspondant à 885 et 950 m. a.). Mais la différence reste de 65 m. a., et c'est également par deux phases d'injection qu'il cherche à l'expliquer.

Tout n'est donc pas assuré dans les résultats de cette méthode. Il s'en faut de beaucoup. Les nombres ne peuvent encore être tenus pour exacts et l'on doit se garder de les prendre à la lettre.

Néanmoins, ils indiquent pour la durée des temps géologiques un ordre de grandeur incontestablement juste. Les meilleures de ces analyses, les plus minutieuses et sur les échantillons les plus frais, qu'elles portent sur des minéraux de Scandinavie, d'Amérique, d'Afrique centrale, de l'Inde ou de l'Australie, offrent entre elles une concordance imposante, qui entraîne la conviction.

Pour la géologie, le principal inconvénient de cette methode est le matériel qu'elle exige: les uraninites sont beaucoup trop rares, liées à des roches trop spéciales. Mais l'on nourrit l'espoir que les physiciens et les chimistes arriveront à mesurer la désintégration du potassium, par exemple, qui nous donnerait l'âge de presque tous les granites !

5. — *Quelques résultats.*

Voyons maintenant quelques-uns des résultats de ces mesures et quelques-unes de leurs innombrables conséquences.

L'un des mieux établis est que le début de l'ère primaire date d'environ 600 m. a. Cela semble une durée fabuleuse. Mais qu'est ce chiffre, à côté de celui de l'uraninite de Keystone, à Ingersoll claim, dans les Black Hills, dont les analyses vraiment modèles de Davis indiquent une teneur en plomb de 0,216, soit un âge de 1465 m. a. ? Et à côté de l'uraninite de Sinyaya Pala, en Carélie russe, qui daterait de 1852 m. a. ? Holmes, il est vrai, conteste la validité de ce dernier résultat, mais d'autres autorités, comme Knopf, l'admettent. On se rend compte ainsi que le Cambrien, le plus ancien étage dont on connaisse bien la faune, est relativement tout récent et que les « temps sédimentaires », comme on appelait autrefois ceux dont cet âge est le premier, ne sont, suivant une expression d'Argand, que la postface des temps précambriens.

Pour ces « temps sédimentaires », les données de la méthode du plomb sont encore très rares et très dispersées. Tout reste à faire dans ce domaine. Mais maintenant que l'on tient

quelques chiffres sûrs, la méthode ancienne qui consistait à dénombrer les couches et à mesurer l'épaisseur des séries, prend une valeur réelle, car elle trouve des points de comparaison et de contrôle. C'est ainsi que Charles Schuchert [1], en 1931, a pu reprendre toutes les observations antérieures, si patiemment et jusqu'à ce jour si vainement multipliées, et les confronter avec les résultats de la méthode du plomb. Sans doute, il y trouve des divergences encore troublantes, mais dans l'ensemble les deux points de vue concordent. Et il arrive à ces conclusions étonnantes qu'en moyenne, en considérant toute la série stratigraphique du Cambrien au Tertiaire, une couche de grès de 1 m. d'épaisseur demande 1500 ans pour se déposer, 1 m. d'argile schisteuse 3000 ans et 1 m. de calcaire 7500 ans.

Nous sommes loin des deux douzièmes de ligne quotidiens de Buffon !

C'est pour la connaissance des *temps antécambriens* que la méthode du plomb promet les résultats les plus précieux. Jusqu'ici en effet, le métamorphisme ayant recuit leurs roches et détruit presque tous les fossiles, on n'avait aucun moyen d'établir des corrélations d'équivalence entre les séries antécambriennes de pays différents. En outre, ces terrains ont été plissés plusieurs fois, injectés de granites à diverses époques: il est presqu'impossible de débrouiller ce chaos.

Mais ces injections granitiques, justement, dont les filons de pegmatite contiennent assez souvent des minéraux radioactifs, vont pouvoir être datées et permettront des comparaisons précises entre les divers continents. Aujourd'hui, les mesures dignes de confiance sont encore trop peu nombreuses pour qu'une synthèse puisse être de quelque certitude. Dans le beau volume que le Conseil national de recherche de Washington consacre à ces questions [1], en 1931, de toutes les analyses radioactives qui ont été faites sur des roches antécambriennes, Holmes n'en retient que 25 et Knopf que 5 ! Holmes pourtant, sur ces données, peut déjà proposer un ensemble de corrélations entre les séries antécambriennes de la Scandinavie, du Canada, de l'Afrique australe et centrale, de l'Inde et de l'Australie. Concordances bien hypothétiques encore, mais vérifiables, alors que jusqu'ici elles nous eussent paru tout à fait fantaisistes.

[1] In *The Age of the Earth,* Bull. of the National Research Council, Washington.

[2] *Loc. cit.: The Age of the Earth.*

Si hasardeux et prématurés que soient encore ces essais de coordination, la méthode est maintenant trouvée et permet les plus grands espoirs. Un résultat est acquis en outre, c'est que la durée des temps antécambriens dépasse tout ce qu'on avait imaginé. Car les pegmatites des Black Hills ou même de Sinyaya Pala ne sont pas les roches les plus anciennes: elles injectent des séries métamorphiques dont la sédimentation et le plissement les ont précédées et qui datent par conséquent, au moins, de un milliard et demi ou de deux milliards d'années.

6. — *Durée de l'évolution des êtres vivants.*

Parmi les conséquences des résultats que nous apporte la méthode du plomb, une des plus suggestives est celle qui concerne le développement de la *vie animale* sur la terre.

La faune la plus ancienne que nous connaissions bien, par les nombreux restes fossiles que nous en livrent les sédiments, est celle de la période cambrienne. On y trouve déjà des types de tous les embranchements des invertébrés.

Agassiz en tirait la conclusion suivante :

« Il est démontré maintenant que toutes les classes d'animaux sans vertèbres ont apparu en même temps à la surface du globe, et qu'elles remontent aux époques géologiques les plus anciennes; d'où il résulte de la manière la plus incontestable qu'on ne saurait continuer à les envisager comme formant une série progressive dans leur apparition, comme on l'a si souvent prétendu. »

Or nous venons de voir que la période cambrienne a été précédée d'au moins un milliard d'années d'histoire géologique. Que fut le développement de la vie pendant ces lointaines époques ?

Nous n'en savons pas grand'chose, puisque les couches sédimentaires, avec leurs fossiles, ont été presqu'entièrement refondues et métamorphisées. Il ne nous reste que quelques indices.

La plus ancienne trace qui nous soit connue d'un être organisé a été trouvée en Finlande, près de Tammerfors, dans des phyllades de la série bottnienne. Les analyses radioactives effectuées sur les pegmatites d'Arendal, en Norvège, et leur corrélation très probable avec les granites de Hangö (granites du 2e groupe de Sederholm) qui sont consécutifs aux plisse-

ments svécofenniens [1], permettent d'affirmer que ce fossile remonte à plus de 1200 m. a. De quelle nature est cet organisme ? La trace en est malheureusement trop fruste pour qu'on puisse le déterminer. On l'a nommé *Corycium enigmaticum*.

Dans les dolomies jatuliennes de Finlande également, qui appartiennent au système carélien, Metzger a découvert des organismes qui semblent des coraux tabulés, les *Carelozoon jatulicum*. Ces êtres remontent donc à plus d'un milliard d'années.

En Amérique du Nord, dans les calcaires huroniens de l'Ontario, qui sont peut-être du même âge que le Carélien, on récolte en quantité des fossiles que Walcott attribue à des Spongiaires et qu'il nomme *Atikokania*. Dans des séries plus récentes, on a trouvé des organismes mieux conservés: Au Grand Canyon du Colorado, des formes qui rappellent les hydrozoaires stromatopores (*Cryptozoon*), des coquilles coniques semblables aux patelles (*Chuaria*), d'autres mollusques univalves que l'on retrouve au Cambrien et qui appartiennent à un groupe disparu, probablement intermédiaire entre les gastéropodes et les céphalopodes: les *Hyolites*. Enfin, au pied des Rocheuses, dans le Montana, des débris de crustacés et peut-être d'un mérostome gigantostracé (*Beltina*).

C'est un maigre tableau de chasse, sans doute. Il nous donne cependant la certitude que 600 m. a. avant le Cambrien la vie existait sur la terre.

La faune de l'époque cambrienne comprend déjà, nous l'avons vu, des genres de tous les embranchements d'invertébrés. Mais ce n'en est pas moins une faune de caractère très archaïque: des classes entières d'invertébrés y manquent, qui ne se développeront que plus tard. Chez les échinodermes, par exemple, les oursins n'existent pas encore; on en trouve les premières formes au Silurien, très rares et très primitives: le nombre de leurs rangées de plaques est encore fluctuant et le restera jusqu'à la fin du Carbonifère. Ce n'est qu'au Permien que le type de nos oursins réguliers est constitué. Et dès le Jurassique il se modifie: à la symétrie pentarayonnée qui les caractérise se superpose, graduellement, à des époques différentes suivant les familles, une symétrie bilatérale. Parmi les échinodermes toujours, les crinoïdes du Cambrien sont encore informes, la symétrie de leur calice n'est pas fixée; on voit ce groupe s'épanouir au Silurien, lancer des branches

[1] Voir F. von Wolff ; *Das Präcambrium Finnlands*. — Geol. Rundschau, XXIII. Bd., p. 89-122, 1932.

latérales (cystidés, carpoïdés, blastoïdes) et prospérer pendant toute l'ère primaire; puis on assiste à sa décadence, par à-coups successifs, avec des retours de prospérité passagère, jusqu'aux pauvres restes de cette faune que les océanographes draguent aujourd'hui dans les abysses. Par contre, d'autres classes d'échinodermes, les étoiles de mer, les holoturies, étaient déjà formées au Cambrien et leur type est resté depuis lors presque sans modification.

Nous pourrions, pendant ces 500 m. a. qui se sont écoulés depuis le Cambrien, suivre de même l'embranchement des mollusques. Chacune de leur classe a son histoire, sa courbe, différente des autres, avec ses péripéties imprévisibles et ses détours. Tel événement géologique sera fatal pour les uns et imprimera aux autres, au contraire, une florissante impulsion.

Et c'est pendant ce laps de temps aussi que vont prendre naissance, l'une après l'autre, les classes des vertébrés.

Darwin, en 1859, estimait qu'il avait bien fallu 100 000 années pour que l'évolution de la faune cambrienne produise les animaux actuels. Cent mille années ! S'est-on assez moqué de lui ! De même que Cuvier raillait les savants « qui accumulent les siècles d'un trait de plume » (c'est de Lamarck qu'il s'agissait), que n'a-t-on pas objecté à une hypothèse qui exigeait cent mille années pour l'accomplissement des processus qu'elle invoquait! De nos jours encore, les biologistes mutationnistes, qui n'ont de foi qu'en l'expérience, reprochent constamment aux paléontologues « d'avoir besoin » de temps fabuleux.

C'est exactement comme si l'on reprochait aux historiens d'avoir « besoin » de tout un siècle pour la guerre de cent ans. Ce ne sont pas les géologues qui accumulent les millénaires: ils sont seulement contraints de constater leur accumulation.

La lenteur de l'évolution de la vie n'est pas une hypothèse: c'est un fait, auquel les analyses radioactives nous permettront peu à peu de donner une expression numérique, auquel nous pouvons assigner déjà un ordre de grandeur.

Une discussion se poursuit depuis 30 ans chez les biologistes: l'évolution des êtres vivants est-elle lente et graduelle, ou brusque et discontinue ? Or c'est une affaire d'échelle. Pour l'anatomiste, un fémur et un nerf sont continus; pour le physicien, leur discontinuité est certaine, ils sont faits « surtout de vide », selon le mot d'Eddington. La même différence de points de vue sépare le paléontologue du généticien.

Nous pouvons suivre l'évolution des chevaux depuis l'Eo-

cène moyen, c'est-à-dire depuis 50 m. a. environ; ils avaient alors la taille d'un renard, avec 4 doigts aux pattes antérieures et 3 aux membres postérieurs. Est-ce une évolution lente ? Oui, si on la compare à celle des Siréniens ou des Cétacés, qui dans le même laps de temps ont subi des transformations beaucoup plus profondes, les uns dérivant de quadrupèdes herbivores, les autres de carnivores. Et les voici près de mourir. Il en est de même des éléphants, dont le groupe est à peine développé à l'Eocène supérieur, qui atteignent des tailles gigantesques au Miocène et au Pliocène, et que nous voyons s'éteindre aujourd'hui. Leur ascension, leur apogée, leur mort n'aura pas pris plus de 50 m. a.: un feu de paille !

C'est pourquoi les paléontologues sont portés à sourire de la forme décisive et exclusive que certains biologistes prétendent donner aux conclusions tirées de leurs expériences de laboratoire. Le résultat négatif d'essais tentés sur « un grand nombre de générations » d'animaux divers, déclarent-ils, démontre, par exemple, que les caractères acquis ne peuvent pas être héréditaires et qu'une différence absolue sépare les « somations » des « mutations » — bien que les effets morphologiques des unes et des autres ne puissent souvent pas être distingués. Or, sur combien d'années portent ces expériences ? Dix, vingt, trente ans au maximum... Après quoi l'on déclare « impossible » l'enregistrement des somations dans le patrimoine héréditaire. J'avoue me méfier de ces « impossibilités » décrétées à la nature, impossibilités sur lesquelles un embryologiste aussi remarquable que Louis Vialleton, par exemple, base toute sa critique du transformisme [1]. Et je pense que s'ils ne voyaient pas, dans leur laboratoire, des œufs se changer en poussins, ces biologistes déclareraient l'embryogénèse impossible.

La mesure des temps géologiques ne nous apportera pas de réponse sur les causes profondes de l'évolution, mais ce qu'elle nous apprend de la lenteur des moindres variations orthogénétiques est d'une importance qu'on n'a pas assez reconnue.

Il est une série évolutive qui fut discutée interminablement, c'est celle des *planorbes de Steinheim*. On croit savoir maintenant fort bien ce qu'il en est [2].

Dans un étang du Jura de Souabe vivait, au Miocène su-

[1] Louis Vialleton : *L'origine des êtres vivants. — L'illusion transformiste*, Paris 1929.

[2] Voir in O. Abel : *Palaeobiologie und Stammesgeschichte*, 1929, p. 7-25.

périeur, une faune de gastéropodes. Surviennent des sources d'eau thermale, chargée de carbonate de chaux et de silice. La plupart des mollusques meurent. Mais trois genres subsistent, dont une espèce de planorbe, *Gyraulus trochiformis*. Cette espèce pullule et prolifère; et voici qu'avec le temps la coquille de ces bêtes, qui était plate, se met à se turriculer de plus en plus, à s'épaissir, à s'orner de carènes. Mais dans les couches supérieures de la série, très rapidement les coquilles reviennent à leur forme plate, tandis que cessent les dépôts d'aragonite, bien que l'eau reste thermale et siliceuse. Enfin, tout au sommet, dans la dernière zone, le carbonate de chaux reparaît: les planorbes se remettent en hélice et recommencent à s'orner.

Le phénomène semble bien clair : c'est une « somation », provoquée par la présence du calcaire dans l'eau chaude, et non héréditaire. Mais combien de temps cela a-t-il duré ? D'après Sandberger[1], la série des couches à eau chaude, jusqu'au retour à la forme plate, mesure 12,20 m. d'épaisseur, et la dernière zone 1,50 m. Ce sont des sables calcaires et marneux. En appliquant les chiffres les plus modestes auxquels Schuchert est conduit pour les sédiments tertiaires (en moyenne 1200 ou 1300 ans pour 1 m. de dépôts clastiques) on doit admettre que cette succession de couches représente une durée d'environ 15 000 ans. Un peu plus que les expériences de Weissmann.

Une autre série évolutive, analogue et tout aussi classique, est celle des *paludines du Levantin de Slavonie*. Là également, on voit des gastéropodes aux coquilles entièrement lisses dans les couches inférieures, s'orner de plus en plus, de carènes et de tubercules. Et comme l'étendue des grands lacs où ils vivaient se réduit à mesure, on peut supposer que la teneur de l'eau en sels calcaires augmente graduellement. Mais les couches, argileuses, ont ici une centaine de mètres d'épaisseur, représentant donc une durée de quelque 120 000 ans. Or les espèces ornées du sommet ne sont jamais redevenues lisses.

Est-ce une série de « somations » qui, au cours d'une si longue durée a retenti sur le patrimoine héréditaire et s'est fixée, ou bien est-ce, comme le propose Guyénot, un ensemble de mutations indifférentes dont le changement du milieu a graduellement favorisé la diffusion des plus ornées et supprimé les moins ornées, ou bien encore « un mélange de somations

[1] C. L. F. Sandberger, *Land- und Süsswasser-Conchylien der Vorwelt*, 1870-1875, p. 632 sqq.

et de mutations » [1], nul ne peut le dire. A l'échelle du paléontologiste, on ne voit pas la différence; on constate qu'un changement de milieu n'arrive pas, en 15 000 années, à modifier de façon durable les planorbes et qu'après 120 000 ans la transformation des paludines semble définitive.

Cela suffit pour révoquer en doute l'extrapolation des résultats d'une expérience portant sur quelques décades, à des phénomènes qui demandent des centaines de siècles pour s'accomplir.

Ce n'est point mésestimer la biologie expérimentale, ni l'esprit critique des généticiens à l'égard des théories qui se paient de mots. Nous avons besoin de cette sévérité: on s'en rend compte en voyant un paléontologue de la valeur d'Othenio Abel, soutenir encore que c'est l'habitude d'avaler sans mâcher qui a fait perdre leurs dents aux baleines et que le fait de courir est la cause de l'évolution des chevaux [2].

Des processus intimes de l'évolution, le paléontologiste ne peut rien savoir. Mais son échelle en vaut une autre : les phénomènes ne sont pas d'autant plus réels qu'ils sont plus petits, comme beaucoup de savants semblent actuellement le croire.

Cependant le paléontologue, comme tout autre spécialiste, doit restreindre ses affirmations au plan de sa recherche: c'est l'oubli de ce principe qui suscite les plus inutiles malentendus. Le paléontologue ne peut rien dire, sans dépasser sa compétence, des facteurs de l'évolution. Il constate une corrélation indéniable entre les changements du milieu et les variations de la faune, mais il ne peut savoir si l'effet du milieu y est direct ou indirect, s'il se borne à une sélection, s'il déclenche des mutations, ou s'il agit sur la chromatine nucléaire par retentissement de somations très longtemps subies.

Par contre, le géologue est mieux placé qu'aucun autre biologiste pour envisager l'ensemble de l'évolution, établir et formuler, après des critiques rigoureuses, ses grandes lois historiques, celles qu'aucune expérience de laboratoire ne peut vérifier ou démentir. Or la plus générale, la plus certaine, est celle de l'orthogénèse, qui n'est pas une théorie mais une

[1] E. Guyénot : *La Variation et l'Evolution.* Encyclop. scient., Doin, Paris 1930. T. II, p. 287-293.

Il ne s'agit en tout cas pas d'une seule et même « population », comme le suggère M. Guyénot, puisque dans les couches inférieures on ne trouve pas une seule coquille ornée, et pas une seule coquille lisse au sommet.

[2] O. Abel : *Palaeobiologie und Stammesgeschichte,* G. Fischer, Wien 1929, p. 179, 292, etc.

constatation à laquelle on ne peut échapper. Elle montre l'évolution de chaque phylum se poursuivant, par étapes successives, dans une direction déterminée, maintenue pendant des dizaines et des centaines de millions d'années, ce qui exclut absolument l'indifférence statistique des mutations.

N'a-t-on pas voulu conclure, des résultats expérimentaux, que le pouvoir évolutif des êtres vivants, actif dans le passé, s'était affaibli et s'éteignait de nos jours ? que la stabilité serait la règle aujourd'hui, alors que c'était autrefois la variation ? [1] Parce que pendant ces derniers siècles la faune n'a pas montré de sensationnelles transformations ! Or l'évolution orthogénétique, que nous suivons du Cambrien au Quaternaire, sur six millions de siècles, est d'une lenteur qu'on n'imaginait pas jusqu'ici. C'est pour l'avoir ignoré que Lamark et Darwin ont proposé des explications fragiles, impliquant l'une et l'autre une facilité des transformations héréditaires qui n'a sans doute jamais existé dans le monde vivant.

Lenteur extrême de l'évolution [2], variations orthogénétiques de très longue durée, tels sont les faits que nous impose la mesure des temps géologiques et que tout essai de synthèse biologique doit tenir pour acquis.

7. — *Les cycles d'orogénèse.*

Les recherches qui ont fini par mettre au point la méthode du plomb pour la mesure des temps géologiques — et dont Joly, de Dublin, et Arthur Holmes, de Durham, ont été les

[1] M. Caullery : *Le problème de l'Evolution.* Payot, Paris 1931.

[2] Il est possible que le rythme de l'évolution ait été plus rapide aux temps antécambriens que dans les périodes moins anciennes. Non pas que le « pouvoir de transformation » ait été plus intense (celui qui a produit les vertébrés n'était pas si débile) mais du fait que le jour solaire eût été beaucoup plus court et les oscillations climatiques beaucoup plus fréquentes. C'est l'hypothèse que propose Robert Schwinner ; il la fonde sur les calculs astronomiques de G. H. Darwin et de H. Poincaré, d'après lesquels la durée d'une rotation terrestre n'était que de 5 heures 36 minutes (de nos heures actuelles) lorsque la lune s'est séparée de la terre ; et la durée du jour aurait continuellement augmenté jusqu'à 24 heures. Malheureusement, l'astronomie ne peut fixer de date à la séparation de la terre et de la lune. Schwinner suppose qu'elle coïncida avec la « révolution laurentienne », ce qui l'amène à penser qu'au Cambrien encore, le jour solaire n'était que de 7 à 8 heures. Mais la « révolution laurentienne » doit être postérieure à l'Ontarien, qui semble équivaloir au Bottnien de Finlande où nous avons des traces d'êtres vivants, ce qui condamne cette supposition.

Cf : R. Schwinner : *Astrophysikalische Grundlagen der Geologie*, Mitt. der geol. Gesell. in Wien, XIX. Bd, 1926, p. 140-149.

principaux artisans — ont en même temps jeté une lumière toute nouvelle sur un des traits les plus remarquables de l'histoire de la terre: c'est la *périodicité des orogénèses*, des plissements créateurs des chaînes de montagnes.

On savait depuis longtemps, depuis Marcel Bertrand surtout, que l'histoire de la terre est marquée par une succession de plissements ayant formé les chaînes huronienne, calédonienne, hercynienne, alpine. Et par une vue géniale, le grand tectonicien français avait reconnu que chacune de ces chaînes a donné lieu aux mêmes grands phénomènes de sédimentation, de métamorphisme, de mouvements précurseurs, de paroxysmes, de destruction graduelle. Il affirmait ainsi que ces cycles géologiques, ces orogénèses comme on les a nommées depuis, constituent les grands chapitres, les vraies unités naturelles de l'histoire du globe.

Emile Argand, il y a une dizaine d'années, a donné une extension à ces vues, une ampleur qui les renouvelle en les confirmant: toute la stratigraphie se raconte aujourd'hui en fonction des orogénèses.

Ce que Joly et Holmes ont montré, c'est la périodicité régulière de ces phénomènes de plissement. On peut dire, en gros, qu'ils se répètent tous les 200 m. a. Naturellement, ce chiffre ne signifie rien de précis; car le paroxysme d'une orognèse ne se produit pas au même moment pour toute la chaîne: il dépend du lieu de la poussée motrice, de sa transmission à travers des masses de plasticité différente, des résistances qui s'interposent, etc. En outre, il y a des mouvements précurseurs, par places aussi importants que le paroxysme, il y a des répliques répétées. On a bien cherché à définir aussi une périodicité précise pour ces mouvements secondaires (30 à 35 m. a), mais elle ne s'est pas vérifiée jusqu'ici. En somme, l'orogénèse est un phénomène continu, les cycles orogéniques se succèdent sans interruption et le suivant commence avant que le précédent soit terminé. Pourtant il y a des époques où l'intensité du plissement est plus forte; les paroxysmes restent distincts, séparés l'un de l'autre par environ 200 m. a.

A quoi peut être due cette périodicité? Sans doute à la cause profonde des mouvements orogéniques. Et Joly a cherché cette cause dans la radioactivité et la chaleur qu'elle engendre.

C'est dans le refroidissement de la terre et sa contraction, qu'il y a un siècle Elie de Beaumont cherchait le mo-

teur des plissements de l'écorce. C'est dans le réchauffement de la terre qu'on le cherche aujourd'hui.

La surface de la terre, en effet, dégage environ, chaque minute, une calorie par m^2. Mais les corps radioactifs, distribués dans les roches à l'état d'extrême dispersion (comme l'a montré Strutt en 1906), produisent beaucoup plus de chaleur que cela. La terre ne rayonne que la chaleur engendrée dans la zone périphérique de son écorce. Au-dessous, la chaleur de désintégration radioactive doit s'accumuler. Et donc la terre devrait se réchauffer.

Mais en fait elle ne s'échauffe pas constamment — l'histoire des êtres vivants nous le prouve.

Pour résoudre cette contradiction, Joly a proposé, en 1925, la théorie des *cycles thermaux*: la terre passerait par des phases de réchauffement suivies de périodes de refroidissement. La chaleur accumulée pendant les premières provoquerait la fusion des parties profondes de l'écorce, faites de basalte ou d'éclogite; cette fusion amincirait l'écorce au point que la chaleur interne pourrait se dégager. D'où refroidissement, recristallisation du magma profond, etc.

Mais il sautait aux yeux que cette quantité de chaleur périodiquement dégagée devait échauffer l'eau des océans, la vaporiser peut-être; or l'histoire de la vie ne nous montre rien de tel. C'est pourquoi Holmes, qui d'abord avait adopté la notion des cycles thermaux, en l'assouplissant et en l'amplifiant, l'a publiquement reniée, en 1928, à Glasgow, pour se rallier à une idée que A. J. Bull développait depuis 1921. Il a exposé ses vues nouvelles dans un cours fait à l'Université de Bâle, en juin 1930, et j'avoue qu'elles me semblent extrêmement séduisantes [1].

La chaleur engendrée dans les zones magmatiques par la radioactivité ne se dégagerait pas à travers l'écorce. Mais, inégalement distribuée, accumulée surtout à la base des socles continentaux, elle provoquerait des *courants de convection*, tout comme la chaleur solaire en fait naître dans l'atmosphère. Et ces courants seraient le vrai moteur des masses continentales, dans leurs dérives où Wegener a montré l'origine des poussées orogéniques.

Cette notion des courants magmatiques était dans l'air: Schwinner en 1919, Ampferer en 1924, Rudolf Staub en 1927, l'avaient invoquée pour expliquer la dérive des con-

[1] Arthur Holmes : *Radioaktivität und Geologie*. Verhandl. Naturf. Gesell. in Basel, Bd. XLI, p. 136-185, 1930.

tinents et les orogénèses. L'idée nouvelle est d'en chercher la cause, et la cause de leur périodicité, dans la chaleur dégagée par la désintégration radioactive.

Ainsi la radioactivité, dont la découverte a eu de tels retentissements sur la physique, la chimie, la médecine, vient enrichir maintenant la géologie. Elle nous apporte l'horloge qui nous permettra de mesurer la durée des temps géologiques. Et peut-être lui devrons-nous aussi l'énergie qui a créé nos montagnes.