

**Vladimir Vernadsky**

**Sur les conditions de  
l'apparition de la vie  
sur la Terre**

*Vernadsky.fr*

**Vive le matérialisme dialectique !**

## I

Le problème de la première apparition de la vie sur notre planète n'est pas encore traité par la science. Il appartient au domaine de la philosophie ou de la pensée religieuse; les savants qui le touchent dépassent ordinairement les cadres du travail scientifique. L'importance de leurs déductions est par ce fait égale et non supérieure à celle des déductions tirées d'autres domaines de la pensée. Ils touchent ces problèmes, ils les étudient non comme savants, mais comme philosophes.

Il me semble que c'est le moment d'aborder ce problème d'autre façon sans sortir du domaine des données scientifiques. L'étude scientifique de ce problème n'est cependant pas possible dans toute son étendue. Il convient d'en tenir compte et de déterminer nettement les limites que la science pose aujourd'hui.

Ce ne sera pas la solution du problème du mécanisme de la genèse ou de l'apparition de la vie sur notre planète, de l'abiogenèse par exemple, mais la détermination des conditions dans lesquelles une telle apparition ou génération est uniquement possible.

Les conditions de l'apparition de la vie sur notre planète doivent être examinées dans un plan réel. La vie ne nous est connue dans le milieu réel que comme une partie indissoluble d'un mécanisme déterminé de notre planète.

Un tel mécanisme c'est l'une des géosphères ou des enveloppes de notre planète - la biosphère (2).

Les conditions qui déterminent la première apparition de la vie sur la terre sont identiques à celles qui déterminent la formation, la genèse de la biosphère sur notre planète.

Ainsi, le problème du commencement de la vie sur la Terre se réduit scientifiquement au problème de l'apparition de la biosphère sur celle-ci. C'est la forme unique sous laquelle ce problème peut être abordé aujourd'hui. En dehors de la biosphère, la vie nous est scientifiquement inconnue, et ses manifestations n'existent pas. L'organisme en dehors de la biosphère est une construction non réelle, mais logique et abstraite par ses propriétés, encore plus étrangère à la réalité que l'air du physicien est étranger à l'air réel, c'est-à-dire à la troposphère. L'air du physicien n'est qu'une première approximation de la connaissance scientifique d'un phénomène réel et une telle approximation fait disparaître de l'horizon scientifique bien des propriétés cardinales de la troposphère. L'air du physicien. (*resp.* la vie en dehors de la biosphère) est une construction logique, la troposphère (*resp.* la vie comme partie de la biosphère) est un fait réel (3) ou plutôt une généralisation empirique (4).

Non seulement on se rapproche de la réalité en considérant le problème de l'apparition de la vie sur la Terre comme le problème de l'apparition de la biosphère, mais on obtient une base nouvelle et solide pour le travail scientifique, on s'appuie sur une immense quantité de faits nouveaux empiriques - géologiques et géochimiques.

La géologie permet aujourd'hui de poser scientifiquement le problème de l'apparition de la biosphère et la géochimie détermine avec une grande précision les conditions auxquelles la vie doit répondre pour pouvoir exister dans la biosphère.

Réduisant le problème du commencement de la vie à celui du commencement de la biosphère, on le pose scientifiquement, car dans ce cas il est possible de vérifier - par l'expérience ou par l'observation précise - les conséquences qui peuvent en être déduites.

## II

Une circonstance encore ne doit pas être perdue de vue. En parlant de l'apparition de la vie sur la Terre, de la genèse de la biosphère, il importe de considérer comme inébranlable le principe de Redi cette grande généralisation empirique, établie au XVIIe siècle, incessamment confirmée par l'expérience et l'observation scientifique. Elle porte « Tout ce qui est vivant provient de vivants ». Exprimé ainsi pour la première fois en latin dans la langue scientifique de l'époque - *Omne vivum viv* - le principe de Redi est précisément juste; ce n'est cependant pas un principe philosophique, mais une généralisation scientifique. Le savant ne saurait jamais prêter un sens absolu (de

philosophie) à cette formule concise et en déduire toutes les suites logiques. Ce n'est pas une construction idéale abstraite, mais une généralisation empirique qui a des limites déterminées. Elle peut en conséquence être exprimée comme suit : « Tout être vivant tire son origine d'êtres vivants dans la biosphère, dont les phénomènes physico-chimiques sont dans leur ensemble déterminés et nettement limités ». Ainsi le principe de Redi n'indique en général pas l'impossibilité de l'abiogenèse en dehors de la biosphère ou son impossibilité après la découverte dans la biosphère de phénomènes physico-chimiques nouveaux (actuels ou existant dans le passé), dont on n'avait pas tenu compte lors de la construction de ce principe.

Il est utile de se souvenir de l'expérience récente, qui indique nettement la différence des compréhensions, scientifique et philosophique, des principes fondamentaux des sciences naturelles. Le principe de la constance de la matière fut établi au XVIII<sup>e</sup> siècle. Cela signifiait pour le naturaliste : La matière est constante dans sa masse et ne se perd pas au cours des processus physico-chimiques *de nous connus*. Et on sait que jusqu'à la découverte de la radioactivité on faisait toujours des expériences pour déterminer empiriquement les limites, la précision de ce principe. Il fut et il demeure aujourd'hui non un principe philosophique abstrait et idéal, mais une généralisation empirique de la science réelle, juste dans les limites déterminées. Dans ces limites il est demeuré inébranlable même alors qu'on découvrit des phénomènes où la matière n'était pas constante. De même pour le principe de Redi il n'indique pas l'impossibilité de l'abiogenèse, de « *generatione æquivoca* » en général, il détermine seulement minutieusement le domaine et les conditions dans les cadres desquels l'abiogenèse n'existe pas.

Selon le principe de Redi - il n'y a pas et n'a pas eu d'abiogenèse dans la biosphère dans les cadres des temps géologiques, c'est-à-dire dans les cadres de tous les temps, où la vie faisait partie du mécanisme de cette enveloppe terrestre.

### III

Deux versions, touchant l'apparition de la vie sur la Terre, ont été exprimées dans le milieu scientifique, toutes les deux indépendantes de la structure géologique et de l'histoire de la Terre (5).

Selon l'une la vie aurait pénétré sur notre planète du dehors, de l'espace cosmique, et y pénétrerait, il se peut, constamment de manière continue encore aujourd'hui (6). Selon l'autre version ce serait la matière brute qui de quelque manière inconnue aurait engendré la vie sur la Terre dans une des périodes géologiques anciennes ou l'engendre peut-être imperceptiblement pour nous continuellement et sans cesse par cette voie, voie de la génération spontanée - de l'abiogenèse, mais ce processus demeure imperceptible pour nous.

Ces deux versions, exprimées sous une forme si vague, ne trouvent pas d'appui dans nos connaissances scientifiques précises, bien qu'elles soient non seulement répandues, mais malheureusement considérées dans les écrits populaires de divulgation scientifique comme acquisitions ou hypothèses scientifiques. Elles ne le sont ni l'une ni l'autre.

Le problème de l'apparition de la vie est transporté par la première version dans des conditions extraterrestres. Il se pourrait alors que la vie serait un fait aussi éternel de la structure du Cosmos que l'atome et ses ensembles, les formes de l'énergie rayonnante, etc.

Une autre hypothèse est pourtant possible qui supposerait que la genèse n'a pu avoir lieu sur notre planète et s'est réalisée dans quelque endroit du Cosmos, mais que les organismes vivants, une fois arrivés sur la Terre, auraient pu s'y maintenir, ayant trouvé un terrain propice pour leur manifestation. Il est évident que dans ce cas la vie peut ne pas constituer un trait éternel du Cosmos, mais que les conditions de son apparition sont liés avec des phénomènes absents de la nature terrestre.

Dans la seconde version - une forme ou l'autre de l'abiogenèse - le principe de Redi est nié de manière non exprimée (7).

Cette négation a toujours été contredite jusqu'à présent, au cours de plus de 250 années, par l'expérience et l'observation scientifiques, mais la pensée humaine n'en tient opiniâtrement pas compte. De fait cette négation manque de base scientifique elle est liée avec certains principes et articles de foi religieux et philosophiques répandus, qui contredisent certainement le principe de Redi.

Certainement le principe de Redi (§ II) lui-même ne nie pas absolument l'abiogenèse, il indique seulement les limites où l'abiogenèse n'a pas lieu.

Des conditions ont pu exister dans l'histoire terrestre *où il n'y avait pas de biosphère*, et des phénomènes ou des états physio-chimiques ont existé dans l'écorce terrestre *absents aujourd'hui*, qui furent nécessaires pour la manifestation de l'abiogenèse. Il est possible, aussi qu'il y a des phénomènes physico-chimiques inconnus de nous, non pris en considération, par le principe de Redi, permettant l'abiogenèse, qui existerait même aujourd'hui sur la Terre, mais échapperait à notre attention par suite de l'insuffisance et du manque de précision de nos méthodes scientifiques actuelles.

Il est impossible de nier l'existence de phénomènes, dont le principe de Redi n'avait pas tenu compte, mais leur découverte ne saurait ébranler la justesse du principe dans le domaine des phénomènes physiques sur lesquels ce principe avait été fondé. Il se peut que la possibilité de l'abiogenèse existe parmi les phénomènes chimiques et géochimiques ordinaires non pris en considération par le principe de Redi (8).

#### IV

N'ayant pas la possibilité de décider laquelle de ces versions répond à la réalité et s'il n'existe pas encore d'autres représentations possibles, tâchons d'établir les conditions de la manifestation de la vie sur la Terre, conditions obligatoires pour toute représentation relative à son commencement sur notre planète, en nous basant sur une substitution du problème du commencement de la vie par celui du commencement de la biosphère.

Il importe de tenir compte ici des progrès de la géologie, qui détermine l'âge de la biosphère, et des données de la géochimie qui excluent quelques-unes des représentations courantes relatives à l'évolution des formes de la vie dans les cadres de la biosphère.

On est tenu de prendre en considération les faits géologiques qui suivent, comme empiriquement précis.

Le champ vital - c'est-à-dire la température et la pression, ainsi que le climat qui en dépend et le caractère chimique du milieu propices à la vie - existent incessamment, sans interruption, demeurent en somme permanents depuis l'ère archéenne. Dans le cours de plus d'un milliard et demi d'années le champ vital fut analogue à celui d'aujourd'hui.

La plus grande partie de l'ère archéenne avait été pénétrée par la vie, analogue à celle d'aujourd'hui dans ses traits essentiels, génétiquement liée avec elle.

La biosphère a existé à travers tous ces temps de manière immuable. Ce ne sont pas seulement les restes de la vie qui le prouvent, mais l'immuabilité au cours de tous ces temps de processus de l'altération superficielle de l'écorce terrestre, le caractère et la paragenèse des minéraux qui constituent la biosphère et qui dans leur genèse sont de la manière la plus étroite liés avec la vie.

Il se peut cependant, que le système archéen ne soit pas identique à celui de l'archéozoïque, comme cela avait paru possible de l'admettre, qu'elle n'en forme qu'une partie. Les recherches de R. Schwinner (9) touchant la structure particulière de la plus ancienne partie des couches de l'ère archéenne - du système laurentique (§ IX) me paraissant dignes d'attention sérieuse, demandant une vérification soignée. Dans ce système, les roches et les minéraux génétiquement liés avec l'altération superficielle, dont la source doit être cherchée dans la biosphère, paraissent jouer un rôle secondaire, différent de celui des autres systèmes.

Ainsi, la géologie paraît nous rapprocher du commencement de la biosphère, c'est-à-dire du commencement de la vie. La biosphère a-t-elle existé à l'époque laurentienne ?

#### V

L'étude des phénomènes de la vie au point de vue géochimique fait à son tour ressortir les particularités de l'action des organismes sur leur milieu ambiant, qui permettent de préciser avec exactitude les conditions qui ont dû exister lors de l'apparition de la vie. Ils mettent des limites aux admissions possibles, concernant les formes de

l'abiogénèse, ainsi que de l'apport cosmique de la vie. Toutes les représentations théoriques doivent en tenir compte.

Deux phénomènes doivent être mentionnés. Premièrement, il importe d'estimer les propriétés particulières de l'espace occupé par la vie, de la biosphère, faisant défaut dans les autres géo – la structure particulière sous ce point de vue de sphères et enveloppes terrestres (§ VI). Et secondement, on est tenu de se rendre compte de la particularité des fonctions géochimiques propres aux organismes vivants dans le mécanisme de la biosphère, qui déterminent la complexité de la vie, la présence d'un complexe constant d'organismes, distribués en beaucoup de diverses formes morphologiques. On a toujours observé dans la biosphère, en employant les termes géochimiques une matière vivante hétérogène (10) et la vie a toujours rempli simultanément diverses fonctions bio-géochimiques (11)

Tous les jugements portés sur le commencement de la biosphère doivent avant tout expliquer la structure complexe non homogène de l'espace de la biosphère, la différence physique profonde qui sépare les espaces de la biosphère occupés par les organismes vivants de ceux qui sont occupés par la matière brute. Ils ne peuvent d'autre part admettre l'abiogénèse ou l'apport de la vie par le fait de l'apparition d'un organisme morphologiquement unique, par l'apparition de quelque algue par exemple ou bactérie qui serait la souche des millions de toutes les espèces de plantes et d'animaux, formés par l'évolution au cours des temps géologiques. *Un complexe hétérogène de formes vivantes (§ VIII) a dû apparaître simultanément, qui s'est ensuite épanoui en la nature vivante actuelle.*

## VI

Les particularités de l'espace occupé par la vie, c'est-à-dire les singularités des « corps » des organismes, furent depuis longtemps justement appréciés dans leur importance par L. Pasteur, mais cette généralisation empirique de premier ordre n'a curieusement pas pénétré jusqu'aujourd'hui la science, on n'en tient pas compte (12).

La vie n'a pu se créer, selon Pasteur, que dans un milieu de dissymétrie particulière, distinct du milieu habituel de la biosphère. Nous comprenons sous le terme du dissymétrie un phénomène complexe, que Pasteur se représentait autrement que nous. Cette notion fut approfondie après Pasteur par P. Curie, qui en formula un principe d'une immense portée théorique, principe que j'appellerai principe de P. Curie. Ce principe porte : « La dissymétrie ne peut se manifester que sous l'action d'une cause, douée de la même dissymétrie. » Je ne puis entrer ici dans des détails, mais il importe de noter que, selon le principe de Curie il doit exister une extrême stabilité du milieu dissymétrique ou du phénomène dissymétrique dans le milieu où cette dissymétrie fait défaut (13).

De très diverses manifestations de la dissymétrie peuvent évidemment exister, et la dissymétrie liée avec les phénomènes de la vie est une de ces formes.

Nous appellerons dissymétrie spécifique de la vie la propriété déterminée de l'espace ou d'un autre phénomène lié avec la vie, pour lequel il n'existe pas d'autre élément de symétrie que les axes de la simple symétrie, mais ces axes sont anormaux, car une de leurs propriétés essentielles y fait défaut, - celle de la parité des phénomènes droits et gauches, observés autour d'eux. Un tel milieu dissymétrique se distingue nettement du milieu cristallin, caractérisé par les axes de la simple symétrie. Il n'existe ou ne prédomine dans le milieu dissymétrique qu'un seul des deux phénomènes antipodes - droit ou gauche - tous les deux peuvent y exister. Tandis que le milieu symétrique cristallin énantiomorphe comprend toujours deux milieux simultanés, - mais toujours séparés - quantitativement identiques - droit et gauche. Dans le milieu dissymétrique caractéristique de la vie, il ne se forme qu'un seul de ces deux milieux - droit ou gauche, ou l'un des deux y prédomine nettement. On peut représenter ce milieu dissymétrique mathématiquement, comme un milieu symétrique cristallin énantiomorphe, dont la symétrie est enfreinte. La dissymétrie indique alors une violation de symétrie habituelle (14).

Les éléments de la symétrie complexe font toujours défaut dans un tel milieu dissymétrique, il n'y existe ni centre, ni plan de symétrie.

Ainsi la doctrine de la symétrie n'embrasse pas la dissymétrie particulière à la vie, la disparité des phénomènes droits et gauches y servant d'obstacle. Du point de vue de la doctrine de la symétrie c'est une infraction particulière et déterminée de symétrie (15).

Pasteur a indiqué que la structure de la matière des organismes vivants ainsi que les manifestations physiologiques de ces organismes étaient caractérisés par une dissymétrie nettement exprimée, avec prédominance de phénomènes droits. Le caractère droit des organismes se manifeste comme par la rotation droite du plan de la polarisation de la lumière de leurs composés essentiels - purs et cristallisés, concentrés dans les œufs, dans les semences, par leurs antipodes cristallins droits, qui se forment lors de la cristallisation en dehors des organismes, par l'assimilation des antipodes droits par les organismes dans le phénomène de nutrition (eux seuls peuvent leur servir de nourriture); les organismes sont indifférents au sujet des antipodes gauches dans ces processus (ils les évitent pendant la nutrition), etc.

Je n'indiquerai pas les déductions générales, importantes, que Pasteur tira de cette généralisation empirique. Je noterai seulement qu'il a indiqué avec justesse, bien avant l'établissement du principe de P. Curie, que la génération spontanée, l'abiogenèse, l'apparition de la vie du sein de la matière brute, ne pouvait avoir lieu que dans un tel milieu dissymétrique droit. Il croyait que c'était dans ce sens là qu'il fallait diriger les essais de la synthèse d'un organisme vivant (16).

Il avait déjà énoncé et jusqu'à présent cela s'est trouvé justifié, que seuls les organismes vivants possédaient une telle dissymétrie sur la Terre.

Il suit de la généralisation de Pasteur, en tenant aussi compte du principe de Redi, que la matière de la biosphère est hétérogène d'une manière extraordinaire. D'une part les organismes vivants sont dissymétriques, dans le sens indiqué et ne se forment que par multiplication (c'est-à-dire proviennent toujours de la substance dissymétrique même, selon les principes de Redi et de Curie). D'autre part la matière terrestre ordinaire n'a pas une telle structure.

Aucune des autres enveloppes terrestres ne contient la matière dissymétrique découverte par Pasteur.

La limite qui sépare ces deux milieux est très nette.

D'autres corps terrestres furent encore découverts après Pasteur, possédant les mêmes propriétés les pétroles, mais les pétroles sont liés dans leur genèse avec la vie (17).

La dissymétrie des pétroles - jointe à leur origine biogène, permet d'introduire une correction dans la généralisation de Pasteur. Il doit non seulement exister des formes de vie droites, comme le pensait Pasteur, mais gauches aussi car bien que ce soient les pétroles à rotation droite qui prédominent, il existe aussi de rares pétroles à rotation gauche.

Cette correction de la généralisation de Pasteur relative au caractère droit de la dissymétrie vitale, aurait pu être notée plus tôt, de sa vie, d'autres manifestations de la dissymétrie vitale étant connues de longue date, donnant pour les organismes parmi la majorité prédominante des formes droites des formes individuelles gauches, par exemple certains mollusques donnent des coquilles à spirale gauche (individus gauches) parmi la masse prédominante des formes à spirale droite phénomène, qui avait frappé l'attention des naturalistes encore au XVIIIe siècle (18). Ainsi le trait essentiel de cette dissymétrie c'est la prédominance nette de l'un des antipodes, l'inégalité frappante du nombre des droits et des gauches.

La prédominance des formes droites dans les phénomènes vitaux est habituellement nettement marquée, bien qu'ici aussi les albumines les plus importants des mammifères (l'homme), mélanges de colloïdes, possèdent dans la majorité écrasante des cas la rotation gauche.

Outre les organismes vivants et les pétroles et autres produits organiques qui sont liés par leur genèse à la vie, tous les autres phénomènes de la biosphère ne manifestent pas cette dissymétrie. Elle fait défaut comme l'a montré Curie (19) dans les champs magnétiques et électriques (20).

L'homme peut créer dans les laboratoires des milieux de structure énantiomorphe, possédant quelques propriétés des structures énantiomorphes dissymétriques, caractéristiques de la vie. Cependant il n'a pas réussi jusqu'à, présent à créer un milieu dissymétrique, analogue à celui qui se trouve dans l'intérieur des organismes.

L'étude de l'action sur les phénomènes vitaux des milieux formés par les rayons droits ou gauches polarisés circulaires ouvre un champ de grand intérêt, mais ce n'est pas un milieu dissymétrique analogue à celui des

organismes. Il faut même toujours avoir en vue que selon le principe de Curie l'activité de l'homme serait elle-même une cause dissymétrique et la création par lui d'un milieu dissymétrique répondant à la vie, serait un fait normal, au point de vue de la dissymétrie.

Suivant certaines indications il existerait des phénomènes dissymétriques hors de la Terre, dans le Cosmos. Et déjà L. Pasteur chercha la cause de l'apparition du phénomène dissymétrique de la vie dans le Cosmos, dans les phénomènes ayant lieu hors de la planète.

La forme spirale des nébuleuses et de quelques agglomérations stellaires indique la présence probable de phénomènes analogues dissymétriques dans le Cosmos. Si les spirales droites prédominent en effet nettement parmi les nébuleuses spirales, comme le constatent de nombreuses photographies, ou si dans certaines parties de l'univers se concentrent des nébuleuses à spirale droite et dans d'autres des nébuleuses à spirale gauche l'existence d'espaces dissymétriques dans le Cosmos deviendrait plus que probable. Cette dissymétrie paraît être analogue à celle qu'on observe dans l'espace pénétré par la vie, c'est-à-dire qu'elle possède des vecteurs énantiomorphes (*resp.* seulement les axes de la symétrie simple) et qu'en même temps tous les deux vecteurs - droit et gauche - peuvent y exister, mais non en nombre égal; les vecteurs droits y prédominent plus souvent (21).

Il est possible que notre planète privée de phénomènes dissymétriques, outre la vie dans la biosphère, peut - en traversant les régions du Cosmos qui en possèdent - pénétrer à quelque stade de son histoire dans l'espace de la dissymétrie droite de ce genre, c'est-à-dire peut s'engager dans les conditions du champ dissymétrique droit où la vie peut s'engendrer (22).

Certes, ce champ dissymétrique droit ne peut aucunement par lui seul engendrer la vie, mais son absence exclut ce processus.

## VII

La dissymétrie du milieu à la surface terrestre a certes de l'importance au moment de l'apparition de la vie dans le cas seul où la vie est engendrée sur la Terre et n'y a pas pénétré des espaces cosmiques.

Une autre condition sur laquelle je me propose de m'arrêter ici, concerne les deux versions possibles de l'apparition de la vie (§ III) - son origine terrestre et cosmique.

La vie et tous les organismes vivants constituent une partie indissoluble et normale de la biosphère. La biosphère même n'est pas une formation accidentelle, c'est un mécanisme déterminé, un système dynamique stable, un équilibre qui s'est établi en ses traits essentiels depuis son commencement, c'est-à-dire du début ou du milieu de l'ère archéenne, depuis l'archéozoïque et qui a existé incessamment, sans interruption et sans changement essentiel dans le cours de 1,5 - 2 milliards d'années.

Deux types de matière constituent la biosphère - la matière inerte d'une part et la matière vivante de l'autre. La matière inerte formée enfin de compte de minéraux, demeure immuable en ses manifestations morphologiques c'est-à-dire par rapport à sa composition chimique et à son état physique. Les mêmes minéraux la formaient à l'ère algonque et avant elle, et la forment aujourd'hui, de nouveaux minéraux n'ont pas apparu à la surface terrestre dans le cours des temps géologiques, si l'on ne compte pas pour tels les minéraux produits par la vie et surtout par la technique humaine (23).

L'autre partie constitutive de la biosphère - la matière vivante - offre un tout autre phénomène la matière vivante est éternellement changeante dans son ensemble et en ses parties séparées au cours de l'évolution des espèces. Cette matière vivante est le porteur de l'énergie libre dans les processus géochimiques de la biosphère, elle est sa partie constitutive active. Les formes stables de la matière vivante, telles certaines espèces (nature vivante homogène) de radiolaires, constantes depuis l'ère algonque ou *Lingula* depuis l'ère cambrienne, sont des exceptions. Elles existent dans leur structure permanente des milliards d'années. Toutes les autres ont radicalement changé à travers ces temps, ont subi une évolution. Le monde vivant de la biosphère paléozoïque et celui d'aujourd'hui sont nettement divers. Le monde de la matière brute est demeuré tout ce temps-là le même.

Comme cela avait été indiqué, nous n'avons scientifiquement connaissance de la vie, que comme d'une partie de la

biosphère, soumise à des lois déterminées : la vie en dehors de la biosphère n'existe pas, c'est une abstraction irréelle.

En parlant de l'apparition de la vie sur notre planète, nous n'avons de fait en vue que la formation de la biosphère.

L'immutabilité de la matière brute de la biosphère, de ses minéraux, ne peut être maintenue que sous la condition que la vie qui y est liée avec eux de la manière la plus étroite demeure immuable aussi par certains de ses traits déterminés, essentiels. En se changeant morphologiquement elle doit demeurer immuable dans son effet moyen, dans sa nature complexe, dans ses manifestations, liées avec la formation des minéraux c'est-à-dire en premier lieu dans sa composition chimique quantitative moyenne et dans sa masse moyenne. Elle a dû toujours constituer l'une et même part déterminée de la masse la biosphère (24). Car ce n'est que sous cette condition que le phénomène grandiose de la formation de l'enveloppe terrestre de « l'altération superficielle » - toujours le même - qui sous l'influence de la vie se produit sur toute la terre ferme, reste chimiquement et minéralogiquement immuable au cours des temps géologiques. Ce n'est qu'alors que les minéraux formés dans la biosphère - minéraux vadoses - demeureraient constants dans leur composition et dans leur paragenèse au cours des temps géologiques (25).

*Par conséquent dès le début même de la biosphère, la vie qui en constitue une partie devrait déjà être un corps complexe, et non une matière morphologiquement homogène, car l'écorce de l'altération superficielle n'aurait pas pu se former sans la vie (partie intégrale du mécanisme de la biosphère). Les manifestations de la vie qui sont liées avec elle, ses fonctions géochimiques, grâce à leur complexité et leur diversité ne peuvent, être l'apanage d'une seule espèce d'organismes. Elles sont incessamment distribuées, à travers toute l'histoire géologique et jusqu'à aujourd'hui, parmi les différentes formes de vie.*

Dans la structure chimique de la biosphère on a affaire au monde vivant dans son ensemble et non à des espèces particulières. Parmi les millions d'espèces il n'y en a pas une qui puisse à elle seule remplir toutes les fonctions géochimiques vitales, qui depuis le commencement existent dans la biosphère.

Ainsi la composition morphologique du monde vivant dans la biosphère a dû être complexe dès le commencement. Les fonctions vitales de la biosphère, les fonctions bio-géochimiques, sont immuables à travers les temps géologiques. Nulle d'entre elles n'a fait apparition dans le cours de ces temps. Elles ont toutes existé simultanément et toujours. Elles sont géologiquement éternelles (26).

## FONCTIONS BIOGEOCHIMIQUES DE LA BIOSPHERE

1. *Fonction gazeuse.* - J'ai indiqué depuis longtemps et à plusieurs reprises le trait remarquable qui caractérise la structure de la Terre, que tous les gaz de la biosphère y sont liés de la manière la plus étroite avec la vie, se forment en grande partie par voie biogène et échangent de la même manière. Bien que l'on puisse distinguer ici, ce que je fais dans la suite, une quantité de fonctions chimiques diverses, l'effet général de la vie dans le régime gazeux de la biosphère est si important qu'il est juste de le rassembler en un bloc unique, comme une fonction indépendante, une partie importante du régime gazeux de la planète. *La production des gaz :*

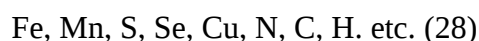


## TOUS LES ORGANISMES

2. *Forme de l'oxygène libre.* - Production de l'oxygène libre (par une réduction de  $CO_2$ ,  $H_2O$  peut être de nitrates, etc.). Un processus qui est indispensable à l'existence de tous les êtres organisés (outre quelques familles de bactéries) et a une immense portée dans l'histoire géologique du Globe (27).

## TOUTES LES PLANTES A CHLOROPHYLLE

3. *Fonction oxydante.* - Oxydation des composés chimiques qui peuvent donner plusieurs degrés d'oxydation ou changent facilement - en donnant des produits oxygénés. Il paraît que cette fonction est caractéristique pour tous les éléments multivalents.





## BACTÉRIES EN GRANDE PARTIE AUTOTROPHES

4. *Fonction du calcium.* - Dégagement de calcium sous forme de sels purs (simples et complexes) carbonates, oxalates, phosphates complexes (apatites) etc.

ANIMAUX ET PLANTES AQUEUX ALGUES (SOUVENT A CHLOROPHYLLE), ANIMAUX UNICELLULAIRES CALCIFÈRES (FORAMINIFÈRES, ETC.), ANIMAUX A SQUELETTES CALCIFÈRES (CRUSTACÉS, MOLLUSQUES, ÉCHINODERMES, CORAUX, BRACHIOPODES, BRYOZOAIRES, VERTÉBRÉS, ETC.). ANIMAUX ET PLANTES TERRESTRES VERTÉBRÉS, MOLLUSQUES, MOUSSES (A CHLOROPHYLLE), ETC.

5. *Fonction réductrice* - Nettement exprimée pour les sulfates, production de  $H_2S$ ,  $FeS_2$  et a ce qu'il paraît d'autres métaux sulfureux biogènes ( $ZnS$ ,  $CuS$ , etc (29), en partie directement en partie par l'action de  $H_2S$  biogène).

## BACTÉRIES

6. *Fonction de concentration* – Concentration d'éléments déterminés par la matière vivante du milieu ambiant. C'est un phénomène caractéristique pour le carbone, bioélément fondamental et pour beaucoup d'autres éléments. L'importance de la vie sous ce rapport devient de plus en plus nette à mesure de la connaissance plus profonde des processus géochimiques. On peut distinguer ici des espèces d'organismes doués de différentes forces concentratrices quelques-uns concentrent plus d'un pourcent du poids vivant (par exemple Si, Fe, K, etc.) - ce sont les organismes siliceux, ferreux, potassiques, etc. Chez d'autres organismes, la quantité des éléments qu'ils renferment dépasse l'abondance moyenne de ceux-ci dans la biosphère (organismes riches en l'élément donné). Ces phénomènes sont connus pour

C, C, N, Fe, Mn, Cu, Ba, S, J, V K. Na, Si (30).

ORGANISMES, ANIMAUX ET VÉGÉTAUX, DE DIFFÉRENTES FAMILLES UNICELLULAIRES ET MULTICELLULAIRES.

7. *Fonction de combustion des composés organiques.* - Le fait essentiel de cette fonction est la transformation des composés organiques carbonés de la biosphère, toujours des produits de la vie, en substances gazeuses -  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ .

## BACTÉRIES

8. *Fonction de la réduction des composés organiques*, donnant d'autres gaz  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ , etc.

## BACTÉRIES

9. *Fonction du métabolisme et de la respiration*, liée avec l'absorption de  $O_2$  et  $H_2O$ , et le dégagement de  $CO_2$ , suivie d'une intense migration d'éléments chimiques, retenus par les organismes dans la matière vivante même.

## TOUS LES ORGANISMES

Prenant en considération la rapidité extrême de la multiplication des organismes et les processus gazeux liés avec le dégagement des gaz dans le cours de la respiration (une des sources essentielles de  $CO_2$ ) - l'importance chimique de la vie dans la biosphère nous deviendra claire (31).

Son importance se manifeste encore plus nettement par suite du dégagement incessant de corps extrêmement actifs dans la biosphère, comme l'oxygène libre, l'acide carbonique et l'hydrogène sulfureux, pour lesquels des centaines

de réactions sont connues aujourd'hui, liées avec leur action sur la partie inerte de la biosphère.

En examinant ce tableau il saute aux yeux, 1) que toutes les fonctions géochimiques de la matière vivante dans la biosphère sans exception peuvent être exécutées par les organismes unicellulaires, protozoaires, 2) que l'exécution de toutes ces fonctions géochimiques par une seule espèce serait impossible et 3) que dans le cours des temps géologiques un changement de différents organismes qui se remplaçaient les uns les autres dans l'exécution de cette fonction eut lieu, tandis que la fonction elle-même demeurerait immuable. Les fonctions géochimiques de la vie sont géologiquement éternelles - forment une partie du mécanisme de la biosphère.

Ce n'est que du moment de l'apparition de l'humanité civilisée dans la biosphère qu'un organisme se trouva à lui seul capable de produire simultanément des processus chimiques variés, mais il y parvint par son intelligence et sa technique et non par le travail physiologique de sa structure.

## VIII

Le résultat, auquel nous sommes arrivés - la généralisation empirique relative à l'existence infailible dans la biosphère d'une fonction géochimique simultanée et extrêmement variée des représentants de la vie est la condition essentielle, déterminant le caractère de son apparition.

Quelle que soit cette apparition, elle doit être représentée par un corps vital complexe, non par un ensemble d'individus d'une seule espèce, mais par un ensemble de multiples espèces appartenant morphologiquement à différentes classes d'organismes nettement distinctes, ou à une forme de la matière vivante hypothétique, particulière, différente des espèces linnéennes, forme inconnue de nous.

La possibilité de la pleine réalisation de toutes les fonctions géochimiques des organismes dans la biosphère par les organismes unicellulaires rend probable que telle fut effectivement la première apparition de la vie. Car on a le droit de considérer la formation des organismes multicellulaires par la voie de l'évolution des ancêtres unicellulaires comme un phénomène réel.

Si nous connaissions la composition chimique de ces organismes monocellulaires, répondant aux fonctions géochimiques vitales, et si nous avons pu déterminer quantitativement l'importance de chaque fonction biogéochimique dans le mécanisme de la biosphère cela nous aurait donné une idée de la composition chimique de la matière vivante, qui a dû toujours exister dans la biosphère depuis son commencement, et n'a pu changer dans le processus de l'évolution.

Ainsi la première apparition de la vie lors de la genèse de la biosphère a dû se produire non sous forme de quelque espèce unique d'organisme; mais sous forme de leur ensemble, répondant aux fonctions géochimiques vitales. Des biocénoses ont dû apparaître du premier coup.

Si l'on admet l'abiogénèse sur la Terre (le principe de Redi demeurant intact (§ II), il doit exister deux possibilités de l'abiogénèse : soit la formation simultanée d'un ensemble d'organismes unicellulaires, de fonctions biogéochimiques déterminées; soit la création d'une forme organique non existante et inconnue, dont la désagrégation ultérieure en organismes de diverses fonctions géochimiques (espèces *sui generis* primitives) devrait se produire très rapidement et par voie inconnue, indépendamment du processus de l'évolution.

Le fait est que le processus de l'évolution sous quelque forme nous le prenions, se développe toujours dans les cadres de la nature vivante déjà existante. Conclure logiquement de là au changement des formes des organismes par l'évolution en dehors de la nature vivante, comme on le fait souvent, serait une faute de logique, une extrapolation inadmissible.

Toutes les théories de l'évolution sans exception examinent le processus comme se développant dans les cadres de la nature vivante existante. C'est évident pour le darwinisme et les théories qui s'y rapportent. La lutte pour l'existence (principe de Malthus, transporté par Wallace et Darwin dans leurs constructions théoriques), où l'idée de solidarité (Kessler, Kropotkine) admettent tous les deux également des espèces vivantes dans les cadres des complexes hétérogènes vivants déjà existants.

Mais ce qui plus est - les courants scientifiques qui se rapportent à Geoffroy Saint-Hilaire et à Lamarck, et qui attachent une importance immense au changement du milieu, c'est-à-dire au changement de la biosphère - un milieu, lié de la manière la plus étroite avec la nature vivante. Car c'est surtout la matière vivante et tous les processus qui s'y rapportent qui changent dans la biosphère. La partie fondamentale, la matière brute - en dehors de sa partie biogène - demeure immuable non seulement dans ses parties solides, mais aussi dans ses composés liquides et gazeux.

Cela se rapporte aussi à des hypothèses comme par exemple celle qui fut dernièrement exposée par J. Walter (32), qui traite du changement de la vie marine en relation avec le changement physico-chimique de la composition de son milieu l'eau océanique. Le changement le plus important de l'eau océanique touche sa partie vivante, en général sa partie biogène. Ce n'est que ce seul fait qui doit nous intéresser ici dans la théorie du professeur J. Walter. Je ne peux pas entrer dans la discussion de son hypothèse principale - que le changement de la composition chimique de l'eau de l'Océan se fait dans une direction déterminée, toujours la même, invariable dans le cours des temps géologiques, par exemple sous forme d'une toujours plus grande concentration de l'eau océanique. Les faits ne paraissent pas l'indiquer.

Mais un certain changement, l'oscillation de la composition, dans un équilibre aussi complexe que l'eau océanique, a certainement dû se produire, une fois que sa partie la plus active - la vie marine - changeait sans cesse et sans interruption.

En tous cas tous ces changements - donc le processus de l'évolution lui-même aussi, - ne peuvent être pris en considération quand on parle de la matière vivante primitive, hétérogène, qui, soit qu'elle fut apportée des espaces cosmiques ou créée par l'abiogenèse en dehors de la biosphère, qui n'existait pas alors, a pour la première fois rendu possible le processus même de l'évolution des espèces.

La matière vivante primitive, qui donne naissance à la nature vivante actuelle, devait se transformer en dehors des lois de l'évolution, qui correspondent exclusivement aux êtres organisés, vivant et se formant dans les cadres de la nature vivante, déjà existante.

Probablement les fonctions géochimiques de la vie ont servi de facteur essentiel à cette transformation.

La matière vivante primitive devait probablement correspondre à un complexe de formes organisées, unicellulaires et bactérielles.

L'extrême rapidité de la multiplication est une des propriétés importantes d'un tel complexe. La grandeur  $V$  - vitesse de la transmission de la vie (34), y atteint des milliers et des dizaines de milliers de centimètres par seconde : la vie pourrait couvrir en peu de jours toute la surface de la planète, former ainsi la biosphère, établir la genèse du processus de l'évolution et de ses lois, c'est-à-dire du processus, lié avec l'action réciproque des formes organiques dans les cadres de la biosphère.

La création de la biosphère, son commencement fut ainsi le moment du commencement du processus de l'évolution, de la création par cette voie de diverses séries organiques héréditaires successives.

## IX

On peut aujourd'hui, à ce qu'il paraît, essayer d'établir l'époque géologique où cela a pu avoir lieu, c'est-à-dire *d'établir le moment de la formation de la biosphère.*

Le temps est propice pour poser de tels problèmes, car un grand mouvement d'idées a lieu dans les sciences géologiques actuelles des principes et des généralisations empiriques fondamentales y sont révisés et créés.

Deux tels problèmes géologiques fondamentaux demeurant en dehors des phénomènes géologiques habituels et du domaine des grands problèmes tectoniques intéressent en ce moment profondément la pensée géologique.

Ces deux problèmes sont - la question de la formation de la Lune et celle de la formation de l'Océan Pacifique ou plus exactement de la genèse d'une dissymétrie particulière dans la structure de l'écorce terrestre. A mesure que

nous nous enfonçons dans l'étude des phénomènes actuels et passés, cette dissymétrie se révèle toujours davantage. La dissymétrie de l'écorce terrestre se manifeste premièrement par la distribution diverse des continents et des océans sur la surface terrestre et secondement par le fait que cette distribution superficielle est en réalité liée de la manière la plus étroite avec la structure profonde de l'écorce terrestre. Il n'existe pas sous le fond de l'Océan plusieurs géosphères, qui se trouvent cependant dans la structure des continents - telles sont la stratisphère, la géosphère métamorphique et généralement la géosphère granitique. Il se produit ainsi une dissymétrie nette dans les couches superficielles de la planète. Ce qui plus est cette dissymétrie se transmet aussi à la troposphère. Elle a aussi des propriétés spécifiques (par exemple l'ionisation) au-dessus de l'Océan, qui manquent dans ses parties continentales.

La dissymétrie de l'écorce terrestre peut être expliquée si on la rapporte à la genèse de la Lune du sein de la Terre et si l'on admet qu'elle fut créée au moment de la catastrophe unique et d'intensité maximale que subit notre planète.

Les bassins océaniques, comme l'a déduit le prof. G. Pickering (1907-1924) en se basant sur les considérations de la théorie de la Lune, se sont formés dans les crevasses terrestres, qui se produisirent lors de la formation de la Lune des parties de notre planète.

Je me décide de prendre en considération les conséquences de cette hypothèse cosmogonique, car elle admet à présent, de plus en plus, une vérification scientifique.

Jusqu'à présent elle était demeurée presque en dehors de la pensée géologique. Il me semble qu'aujourd'hui le géologue ne peut pas ne pas y faire attention. Car d'une part une telle représentation de l'histoire de la Terre et de la Lune - et de leurs relations - sort intacte après les grands progrès et les changements profonds des recherches cosmogoniques récentes (35) et que secondement les forces qui y sont prises en considération et qui sont celles des marées - sont un fait réel. Nous devons en tenir compte non seulement à l'égard des phénomènes actuels, mais encore davantage à celui des temps où notre système planétaire se constituait.

La formation de notre satellite est un fait non seulement astronomique mais géologique aussi et la constitution physique de sa surface est en accord avec une telle hypothèse.

Si la Lune a pris son commencement de la Terre, de sa partie supérieure, le géologue peut-il laisser ce fait inaperçu, peut-il ne pas chercher sa manifestation dans les phénomènes qu'il étudie ?

Il pouvait le faire encore récemment lorsqu'on avait cru que la genèse de la Lune - de la matière terrestre avait eu lieu à des temps lointains, pré-géologiques.

Il ne peut pas le faire aujourd'hui. Car l'âge des phénomènes géologiques les plus anciens qu'il étudie de manière concrète, par exemple dans l'ère archéenne, est déterminée par un nombre d'années, dont l'ordre répond à la même décade, -  $10^9$  années - qui correspond à l'existence de notre système planétaire. L'âge des plus anciens minéraux (pegmatites de l'ère archéenne) établi par les méthodes de la radioactivité est voisin de  $2 \times 10^9$  années (36) ; la durée - limite du système solaire est proche de  $5 \times 10^9$  années (37). Le géologue étudie aujourd'hui des phénomènes bien plus anciens que les filons pegmatiques dont l'âge lui est connu. La Lune s'est détachée de la Terre non au commencement même de la formation du système solaire. Ainsi l'époque critique de sa formation, de la séparation brusque de notre planète des masses de la matière qui ont formé la Lune, entre dans les cadres des temps géologiques. Le géologue ne saurait ne pas tenir compte de ce fait.

Mais en outre les astronomes eux-mêmes essaient de rapporter l'époque de la formation de la Lune aux temps géologiques, aux processus géologiques. Récemment, en développant plus profondément et en précisant les travaux fondamentaux de G. Darwin dans ce domaine, R. Schwinner (38) (§ 4) a essayé de lier la formation de la Lune avec les grandes périodes tectoniques que les géologues ont constatées dans l'histoire de notre planète. R. Schwinner en se servant de la théorie des résonances tâche de prouver qu'à une époque déterminée, par l'interférence des ondes des marées avec la vibration de la Planète par suite des marées munies des masses de matières terrestres pouvaient se détacher de la lithosphère et donner à la Terre un satellite, qui est notre Lune. Il a lié avec ce phénomène fondamental et unique toutes les grandes périodes tectoniques critiques qui existaient au cours des temps géologiques. Il a admis que la formation de notre satellite coïncidait avec le plus ancien des grands mouvements tectoniques qui eurent lieu à l'époque laurentienne. Il pense que l'étude des roches laurentiennes

permet de les distinguer des roches archéennes plus jeunes. Et enfin il énonce la grande probabilité du très rapide rétablissement après le détachement de la Lune de conditions de climat, en somme depuis immuables, identiques à celles qui existent aujourd'hui à la surface terrestre et y déterminent la présence ininterrompue de la vie. Ce sont déjà des faits géologiques qui nécessitent cette dernière admission. Car si l'on avait pu admettre, qu'à la base de l'ère archaïque, c'est-à-dire à la période laurentienne la vie n'existait pas - il est sûr, qu'elle existait déjà à l'époque archéenne.

La biosphère a dû donc avoir pris naissance près de ce moment critique de la Terre.

En reliant la genèse de la biosphère au plus grand événement de l'histoire du Globe, on la place dans des conditions uniques et exceptionnelles qui avaient pu permettre la genèse de la dissymétrie caractéristique de la vie - conditions qui n'existent pas dans la biosphère actuelle. Car au cours de la formation de la Lune ce sont des mouvements tourbillonnants (peut-être de sens droit), qui ont dû donner lieu à la formation des grandes cavités à la surface terrestre.

C'est par de tels mouvements que la matière terrestre fut entraînée en dehors de l'attraction terrestre. C'est à la place de l'océan Pacifique actuel qu'a dû se trouver le centre de ce champ dissymétrique droit.

Une des conditions - la cause dissymétrique - indispensable selon le principe de P. Curie (§ 6), a donc pu exister temporairement à cette époque-là à la surface de notre planète. Une des conditions de l'abiogenèse a pu être présente pour quelque temps.

Ainsi la genèse de la biosphère (et de l'apparition de la vie), de la formation de la cavité de l'océan Pacifique (dissymétrie de l'écorce terrestre) et de la genèse du satellite terrestre - coïncident comme événements géologiquement simultanés et - il est possible - génétiquement liés entre eux.

## X

Toutes hypothèses de cette échelle n'ont de l'importance dans la science que quand premièrement elles peuvent être scientifiquement vérifiées, quand elles posent des problèmes admettant la vérification scientifique, et quand, secondement, elles lient simultanément des phénomènes qui antérieurement avaient paru accidentels et indépendants.

C'est justement le cas ici. On y pose d'une part le problème de l'étude des roches laurentiennes du point de vue de la non-existence des processus de l'altération superficielle. Les processus du métamorphisme doivent y être différents des roches archéennes, plus récentes. Dans celles-ci les minéraux qui se métamorphosent sont identiques aux produits de l'altération superficielle de notre biosphère.

Dans les roches métamorphiques laurentiennes l'action de la vie devrait être absente. On doit les étudier sous ce point de vue. Cette étude, dont le but est concret et clair, est à faire.

D'autre part, on trouve une liaison, entre les périodes des grands mouvements tectoniques et la genèse de la Lune. Ce sont les différentes manifestations d'un seul phénomène grandiose, qui a eu lieu il y a des milliards d'années et dure encore. Les grandes périodes tectoniques ne sont que des paroxysmes, de plus en plus affaiblis, une extinction qui dure, de la catastrophe initiale au cours des temps géologiques.

Non seulement les mouvements tectoniques sont amenés à la même cause unique - la formation de notre Satellite - mais en même temps tous les phénomènes géologiques de grande envergure qui s'y rattachent : les phénomènes volcaniques, époques glaciaires, l'apparition des grandes divisions morphologiques de la Vie.

Au même événement unique se rattachent la formation de la dissymétrie de l'écorce terrestre, la distribution des océans et des continents. Le volume de la cavité de l'océan Pacifique moindre que celui de la Lune ne contredit pas cette genèse, car c'est un phénomène du même ordre. (Le volume de la Lune près de  $5.0 \times 10^9 km^3$ , le volume de l'océan Pacifique -  $1.3 \times 10^9 km^3$  ).

L'étude géologique ultérieure démontrera combien l'idée de la *genèse simultanée* de la biosphère

(apparition de la vie par l'abiogénèse ou d'en dehors de la Terre et la genèse de l'évolution des espèces), de la formation de l'océan Pacifique (dissymétrie de l'écorce terrestre) et de la création de la Lune correspond à la réalité. - Doit-on y voir réellement le commencement de la planète que nous étudions et dont les traits fondamentaux sont demeurés immuables depuis lors ?

Cette immuabilité nous mène à l'immuabilité - celle des phénomènes astronomiques des mouvements des systèmes solaires et planétaires - immuabilité des phénomènes de la Terre, éternels au cours des temps géologiques.

## V. Vernadsky

### Notes

2. V. VERNADSKY *La biosphère*, P. 130 (Alcan)
3. V. VERNADSKY *Geochemie in ausgeur*, Kap. L. 1930 p. 38 L'édition allemande est mise à jour en comparaison avec l'édition française (1924).
4. V. VERNADSKY *La biosphère*, P. 130 (Alcan)
5. V. VERNADSKY *La genèse de l'éternité de la Vie*, P. 1930 (en russe)
6. Cf. S. ARRIENIUS *Zeitschr. f. physik. Chemie.* CXXX p.516
7. Le principe de Redi est basé sur les travaux des générations de savants; quelques noms peuvent être relevés au XVIIIe siècle, F. Redi; aux XVIIIe - XVIIIe, A. Vailisnieri, au XVIIIe siècle, L. Spallanzani (et M. Terechowsky), au XIXe, L. Pasteur.
8. Il est ainsi possible, que les organismes (donc aussi la génération spontanée) demanderaient la présence d'éléments chimiques d'un poids atomique déterminé, c'est-à-dire correspondant à un autre mélange isotopique que celui qui existe dans le milieu de leur vie. J'ai posé ce problème en 1926 (V. VERNADSKY : *Comptes Rendus de l'Acad. Des Sc. Leningr.*, 1926, 215) et il est en train d'être résolu mais ne l'est pas encore (V. VERNADSKY : *C. R. de l'Acad. de Paris.* 192, 1931, *C. R de l'Acad de Leningr.*, 1931 1137 ; V. CHLOPINE et M. PASVIG-CHLOPINE : *Ibtd*, 1932). Un type particulier de symétrie du champ atomique est aussi possible dans les compositions chimiques des organismes (V. VERNADSKY : *Revue des Sc. P.* 1925)
9. R. SCHWINNER *Mitt. d. Geolog. Ges. Wien.*, XIX, W. 1928 p. 140
10. V. VERNADSKY : *Revue génér. des Sciences.* P. 1923 ; *La biosphère*, P. 1930.
11. Voir § LVIII
12. V. VERNADSKY : *Revue génér. des Sciences.* P. 1931
13. Un phénomène dissymétrique peut exister un temps indéterminé dans un milieu ordinaire qui lui est étranger, car il ne peut être détruit (si le milieu lui-même ne l'est pas) que par une cause de dissymétrie du même ordre faisant défaut dans un milieu ordinaire.

14. Adoptant la représentation de P. Curie de la dissymétrie comme d'un état de l'espace (Voir *Mme Curie, Pierre Curie* P. 1924) , il devient évident qu'il existe une différence très nette, fondamentale entre l'état de l'espace ordinaire de notre planète et celui de l'espace occupé par les organismes vivants. La représentation de ce dernier comme d'un espace symétrique dont la symétrie aurait été enfreinte est certainement une représentation imagée, un schéma mais non un fait réel. Cet espace « dissymétrique » n'a aucune relation avec l'espace énantiomorphe cristallin. Dans la dissymétrie, caractéristique de la vie, on a affaire à un milieu où les deux antipodes de structures aux axes de symétrie peuvent exister, mais où l'un des antipodes apparaît seul ou prédomine. Dans les milieux symétriques énantiomorphes un seul antipode peut exister, l'autre en est exclu.

15. La doctrine complète de la symétrie doit tenir compte de la dissymétrie particulière des phénomènes vitaux comme d'une forme particulière de la symétrie. Une telle doctrine n'existe pas. Pour la symétrie, cf. F. JAEGER : *Lectures in symmetry*. 2, ed. Amst. 1920 (il existe une édition française). Dans le nouveau livre important de W. LUDWIG : *Das Rechtslinks problem in Tierreich und beim Menschen*. B. 1912 les idées et les généralisations de Pasteur et de Curie ne sont pas prises en considération. M. Ludwig emploie le terme « assymétrie » dans le sens « de dissymétrie » de Pasteur et de Curie.

16. L. PASTEUR : *Œuvres*, I-II. P. 1922. Quelques mémoires sont publiés pour la première fois.

17. Les travaux récents de L. ROYER : *Bull de la Soc. Miner.* LIII. P. 1930 p. 359) permettent de préciser ce phénomène. M. Royer a trouvé que non seulement les pétroles, mais les solutions des matières naturelles humiques et tourbeuses donnent des figures énantiomorphes de corrosion sur les cristaux de calcite. On peut en déduire le caractère énantiomorphe droit ou gauche de ces substances. Il serait très intéressant et très important d'étudier (par cette méthode nouvelle) les minéraux carbonés organiques au point de vue de la propriété droite-gauche.

18. Voir l'exposé et la bibliographie, W. LUDWIG, *l.c.* 1932.

19. P. CURIE : *Œuvres* P. 1908

20. Il est possible que les champs des radiations lumineuses formées par la réflexion sur les surfaces aquatiques (lumière polarisée elliptique) donnent des milieux, qui peuvent présenter une forme de dissymétrie peut-être analogue. Ce phénomène n'est pas étudié. La vie aquatique peut y jouer quelque rôle.

21. Il existe évidemment différentes formes de dissymétrie. Ce phénomène n'a pas été suffisamment étudié théoriquement. Je ne puis y toucher ici et j'espère revenir à l'examen de ce phénomène ailleurs. Je noterai que la « dissymétrie » de l'espace pénétré par les rayonnements droits (ou gauches), par exemple par la lumière droite du sodium, diffère de la dissymétrie énantiomorphe vitale, car les phénomènes énantiomorphes gauches y sont impossibles. En employant la terminologie courante, précise, ces milieux énantiomorphes doivent être distingués de la dissymétrie car la symétrie n'y est pas « enfreinte ».

22. C'est « la cause » du principe P. Curie (§ H).

23. La matière brute de la biosphère commence à changer nettement avec l'apparition de l'humanité civilisée. Il y apparaît de nouveaux corps inconnus jusque là (par exemple l'aluminium métallique et ses alliages) et leur masse change (par exemple la considérable augmentation de la quantité de fer métallique ou du cuivre métallique). La formation de tels corps nouveaux augmente avec une accélération toujours croissante. Sur le rôle de l'homme voir V. VERNADSKY : *Essais et discours*, I et II, P. 1925 56 (en russe). Ainsi que V. VERNADSKY : *Essai de la minéralogie descriptive*. I – II, P. 1908 – 1922 (en russe). L'action de la vie se manifeste déjà, mais dans un degré moindre dès l'apparition de la biosphère par la formation des minéraux biogènes.

24. Il est évident que je parle toujours de la constance, d'immutabilité des quantités moyennes dans l'équilibre complexe que représente la biosphère. Il doit toujours exister des oscillations quantitatives nettes de la composition chimique et de la masse de la matière vivante par rapport au nombre moyen constant.

25. Sur ces termes voir V. VERNADSKY, *Histoire des minéraux dans l'écorce terr.*, I. P. 1923 (en russe); *La géochimie* P. 1924

26. Il me semble très commode de distinguer de tels phénomènes géologiques comme des phénomènes éternels « dans les temps géologiques ». De tels phénomènes se distinguent nettement des phénomènes changeants de l'histoire géologique, de l'évolution géologique du Globe et font partie de son mécanisme immuable ou presque immuable au cours des temps géologiques. Cf. V. VERNADSKY : *Tschremak's Mineralog. Mittheilungen*. W. 1932 (sous presse).

27. Toutes les autres synthèses de l'oxygène libre de la biosphère sont reléguées au second rang.

28. Elle est probable pour P, V, Cr, Ni, Co, As, Sb, Pb, J, Bi, U, Ti.
29. Très probable pour les sulfides métalliques.
30. V. VERNADSKY : *Revue gener. des Sciences*. P. 1923
31. V. VERNADSKY : *La biosphère*. P. 1930 ; *Geochemie*. P. 1924 (édition allemande de 1930 très augmentée et mise au courant) J. SAMOILOFF : *Les biolithes*. L. 1929 (en russe).
33. J. WALTER : *Leopoldina*, 5. II. 1929, p. 34.
34. V. VERNADSKY : *Revue génér. des Sciences*, P. 1927 ; *Zentralb. f. Miner.*, 1928, p. 592 ; *La biosphère*, P. 1930.
35. I. JEANS : *Astronomy and Cosmogony*. C. 1928, p. 398.
36. V. VERNADSKY : *Géochemie*. L. 1930, p. 280, 306 ; *Histoire des eaux naturelles*, 1. L. 1932 (en russe).
37. Sur ses termes, voir V. VERNADSKY : *Geochemie* L. 1930.
38. R. SCHWINNER, *l.c.*