

Sur la différence énergétique-matérielle fondamentale entre les corps naturels vivants et non vivants dans la biosphère

VLADIMIR VERNADSKI

Le texte qui suit est un article que Vernadski a écrit en 1938 et qui n'a été publié en russe qu'en 1993, en annexe à une biographie. Il a été traduit en anglais par Jonathan Tennenbaum, puis en français par Emmanuel Grenier. Des légères coupures ont été opérées, signalées par des points de suspension entre crochets. Le texte que nous publions représente environ 80% du texte original. Il ne s'agit donc certainement pas d'une traduction de référence, mais d'un premier jet qui pourra être ultérieurement amélioré. Vu le grand intérêt de ce texte, nous n'avons pas cru devoir attendre plus longtemps pour le présenter au public français.

Avant-Propos

Travaillant actuellement sur le livre *Les concepts de base de la biogéochimie en connexion avec la connaissance scientifique de la Nature*, l'auteur considère qu'il vaut la peine de ne pas attendre qu'il soit fini – ce qui risque de prendre encore du temps – et de développer séparément certaines des questions spécifiques qu'il traite dans ce livre, sur lesquelles il souhaite attirer l'attention maintenant. L'un de ces problèmes, qui fait suite aux *Questions de biogéochimie*, est la caractéristique énergétique-matérielle fondamentale de la matière vivante de la biosphère, qui la distingue de tous les autres objets et processus de la Nature ; distinction qui ne souffre aucune exception. L'auteur en est venu à cette question en étudiant la vie en tant qu'agrégat * de tous les organismes vivants sur la planète – autrement dit la *matière vivante* – en examinant la structure spatiale du domaine habité par la matière vivante – la biosphère –, en tant qu'unique région de la planète légitimement connectée avec les *espaces extraterrestres*. L'auteur estime que personne d'autre n'a encore approché le phénomène de la vie de ce point de vue. Dans le même temps, cette nouvelle approche fait émerger des conséquences importantes, qui peuvent être vérifiées par l'expérience et l'observation. L'auteur considère que le tableau publié ci-dessous [résumant les distinctions essentielles entre les matières vivante et non vivante, *NdT*] ne suppose aucune hypothèse spéciale ou théorie mais constitue une présentation des faits scientifiques et des généralisations empiriques qui découlent de ces faits. Le tableau ne sort pas du cadre de la science pour entrer dans celui de réflexions philosophiques mais il manifeste en même temps, de façon aiguë et décisive, l'importance de la vie – la matière vivante – dans la biosphère, en tant que *processus planétaire*. En connexion avec les questions générales soulevées ici, l'auteur aborde, dans une troisième publication devant être imprimée sous le titre *Sur les états de l'espace physique*, une question encore plus générale qui ne concerne pas seulement la bio-géochimie, mais toutes les études de la nature et qui est indissolublement liée aux problèmes de la biogéochimie. Les sujets de ces deux publications sont intimement reliés.

Moscou, septembre 1938.

* Vernadski utilise ici un terme propre à la chimie minérale (les roches sont des agrégats de divers minéraux) mais l'étend à la matière vivante qu'il considère comme la somme hétéroclite de tous les processus vivants, qu'ils appartiennent au règne animal ou végétal, *NdT*.



I. Concepts de base

La matière vivante, la biosphère en tant qu'enveloppe de la planète. Son nouvel état géologique – la noosphère. Les corps naturels et les processus naturels de la biosphère – matière inerte, matière vivante et matière bio-inerte. Leur système – l'appareil scientifique. Les orientations chirales préférentielles de la matière vivante en tant que manifestation de l'état de l'espace occupé par cette matière. L'énergie libre de la biosphère en tant que manifestation de l'énergie biogéochimique de la matière vivante dans la biosphère.

1. Dans mes travaux en biogéochimie, que j'ai poursuivis systématiquement et sans interruption depuis 1916, j'ai récemment formulé des conclusions qui soulignent la distinction profonde, infranchissable – de caractère énergético-matériel – entre les processus de la vie et tous les autres processus intervenant dans la biosphère ; distinction qui peut certes être exprimée en termes quantitatifs exacts, mais qui appelle en même temps de nouveaux travaux mathématiques dans le domaine de la géométrie. Ce qui nous est révélé, c'est un nouveau domaine de l'étude des processus vivants, qui ouvre de nouvelles facettes des phénomènes de la vie et de nouvelles possibilités pour le travail scientifique. Je considère donc utile d'attirer l'attention sur ces conceptions plutôt que d'attendre d'avoir terminé ma refondation de la biogéochimie.

2. Les fondations de la biogéochimie reposent sur quelques conceptions essentielles, qui *ne présupposent pas d'hypothèse spécifique* mais constituent des concepts scientifiques clairs et précis et des généralisations scientifiques d'expériences et d'observations empiriques des naturalistes. Surtout, le concept de matière vivante dans la biosphère représente une de ces généralisations scientifiques empiriques – irréfutable, en tant que fait correctement et scientifiquement établi.

La matière vivante de la biosphère est l'agrégat de tous ses organismes

vivants.

Dans la suite du texte, j'utiliserai, au lieu du concept de *vie*, le concept de *matière vivante* au sens que je viens d'indiquer. Du point de vue de la biosphère, l'organisme vivant individuel est perdu de vue. C'est l'agrégat des organismes, la matière vivante, qui occupe la première place. Cependant, en biogéochimie – dans certains cas rigoureusement définis – il est nécessaire de porter son attention sur l'organisme discret, sur son individualité. Il est indispensable de le faire lorsque, comme nous le verrons bientôt, l'activité de l'homme apparaît comme facteur géologique, dans lequel la personnalité individuelle apparaît quelquefois clairement et se reflète dans des phénomènes à grande échelle de caractère planétaire. La personnalité humaine change, accélère et exprime son importance considérable par son action sur la biosphère.

Nous vivons une nouvelle époque géologique. L'homme, par son travail, et sa relation consciente à la vie, est en train de transformer la Terre – la région géologique de la vie, la *biosphère*. L'homme fait naître un nouvel état de la biosphère : à travers son travail et sa conscience, la biosphère est en transition vers la *noosphère*. L'homme est en train de créer de nouveaux processus biogéochimiques qui n'avaient encore jamais existé. On est, par exemple, en train de créer sur notre planète des masses énormes de nouveaux métaux purs ou de leurs alliages, qui n'avaient jamais existé sous cette forme auparavant, comme l'aluminium, le magnésium ou le calcium. La vie animale ou végétale se change et se réorganise. De la façon la plus drastique. De nouvelles espèces et de nouvelles races sont générées. La face de la Terre change de façon drastique. L'étape de la *noosphère* est en train d'émerger. La biosphère de la Terre vit une gigantesque floraison, dont le développement futur nous apparaît grandiose.

Dans ce processus géologique, qui est fondamentalement un processus biogéochimique, un seul individu vivant – une grande personnalité,

qu'il s'agisse d'un scientifique, d'un inventeur ou d'un dirigeant politique – peut avoir un rôle fondamental, décisif, directeur et se manifester en tant que *force géologique*. L'émergence de ces individualités dans des processus ayant une grande importance biogéochimique est un nouveau phénomène planétaire. Il émerge et se manifeste de façon toujours plus aiguë et profonde au cours du temps, *depuis les dix mille dernières années*, à comparer aux milliards d'années de l'histoire de la biosphère, pendant lesquels ce phénomène n'existait pas.

3. A côté du concept de matière vivante, nous proposons deux autres généralisations empiriques : le concept du milieu de vie, la *bio-sphère* ; et le concept de corps naturel vivant. La matière vivante n'existe sur notre planète que dans la *biosphère*, qui est la région de la vie.

Cette caractérisation définit les limites de la biosphère de façon très précise. Selon cette définition, l'ensemble de la *troposphère* appartient à la biosphère. Aujourd'hui, des organismes vivants – les hommes et leurs compagnons inévitables : insectes, plantes, micro-organismes – pénètrent encore plus loin, seuls ou à l'aide de machines, jusque dans la *stratosphère*. Dans le même temps, l'humanité civilisée (toujours avec ses compagnons inévitables) pénètre à plusieurs kilomètres en dessous de la surface de la planète, au-delà des limites du relief de surface de la planète en contact avec la biosphère. La science actuelle révèle la signification planétaire de la découverte, à la fin du siècle dernier, d'organismes vivants – de la matière vivante microbienne, principalement anaérobie – dans les régions souterraines à plus de trois kilomètres de profondeur, et sans doute encore plus profondes. Les frontières inférieures de la biosphère s'étendent ainsi à plusieurs kilomètres en dessous du niveau de la géoïde. L'ensemble des océans appartient à la biosphère.

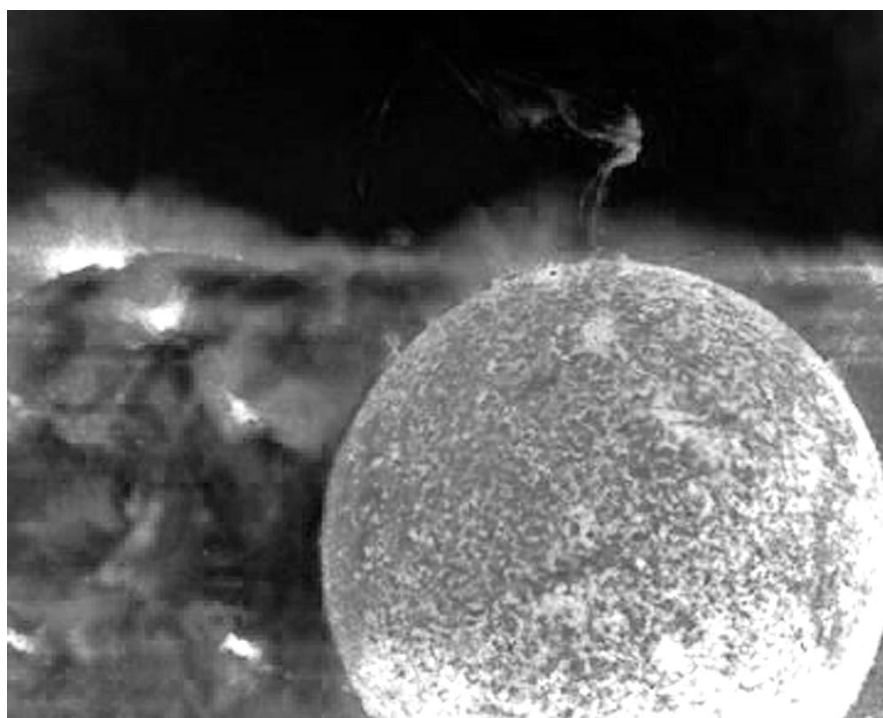
La biosphère constitue une *enveloppe géologique* bien définie, nettement différenciée de toutes

les autres couches géologiques de notre planète. Cela n'est pas seulement dû au fait que la biosphère est habitée par une matière vivante qui a une énorme importance en tant que force géologique, retravaillant la biosphère en profondeur et transformant ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques. C'est aussi la seule enveloppe de notre planète à recevoir l'énergie extraterrestre, transformée par la matière vivante. La principale source de cette énergie est le Soleil. L'énergie du Soleil – thermique, lumineuse et chimique – constitue, avec l'énergie des éléments chimiques, la principale source de production de matière vivante.

La matière vivante traverse l'ensemble de la biosphère et, dans une grande mesure, la crée. Elle accumule l'énergie de la biosphère, principalement l'énergie thermique et chimique du rayonnement solaire, ainsi que l'énergie chimique des atomes de la Terre. Il est possible que les éléments radioactifs jouent aussi un rôle.

4. La substance énergéico-matérielle qui constitue la biosphère est profondément hétérogène. De ce point de vue, nous devons distinguer l'importante masse de matière qui n'appartient pas aux organismes vivants et que j'appelle matière *inerte* – matière non vivante. L'essentiel, en termes de masse, est formé de roches solides, mais le plus gros volume est liquide et gazeux : l'océan et l'atmosphère.

Il existe une connexion matérielle (respectivement énergétique) unifiée, ininterrompue entre la matière vivante et la matière inerte, que l'on retrouve dans les processus de respiration, de nourriture et de reproduction, nécessaires à sa survie : une *migration biogénique d'atomes* des éléments chimiques, des corps inertes de la biosphère vers les corps vivants et en sens inverse. Cela prend la forme d'un *mouvement* – le départ et l'arrivée d'éléments et de composés chimiques spécifiques de et vers les organismes vivants, en liaison avec leurs processus de nutrition, de respiration, d'excrétion et de reproduction, caractéristiques de la matière vivante. Ces processus définissent l'*énergie biogéochimique* de la matière vivante, dont la principale manifestation est la re-



La biosphère constitue la seule enveloppe de notre planète à recevoir l'énergie extraterrestre, transformée par la matière vivante. La principale source de cette énergie est le Soleil. L'énergie du Soleil – thermique, lumineuse et chimique – constitue, avec l'énergie des éléments chimiques, la principale source de production de matière vivante.

production et la propagation de la matière vivante.

Tous ces phénomènes de migration biogénique et d'énergie biogéochimique sont définis par les dimensions, la constitution chimique et l'énergie de la biosphère. De ce fait, seuls des organismes bien spécifiques (pas n'importe quel sorte d'organisme arbitraire) peuvent exister dans la biosphère, ceux qui sont déterminés par la structure de la biosphère. *Les organismes vivants et la matière vivante sont des fonctions légitimes de la biosphère.* Les gens tendent à l'oublier facilement. Et de façon erronée – surtout pour leurs considérations philosophiques, mais aussi en biologie – ils opposent l'organisme vivant à son milieu, comme s'il s'agissait de deux objets indépendants. Cette sorte d'opposition est une erreur logique. On la retrouve surtout dans la philosophie et elle affaiblit le fondement de ses conclusions. Mais je ne cesserai de revenir sur ce point.

5. Le concept de *corps naturel* n'est pas moins important. De façon étrange, ce concept de base, qui par essence traverse toutes les

sciences de la nature, est habituellement négligé et n'est pas soumis à l'analyse logique. Pourtant, les scientifiques utilisent ce concept, inconsciemment, à chaque étape de leur travail.

Mon maître V.V. Dokoutchaïev, dans son travail créatif en pédologie, propose que le sol est un *corps naturel spécial*, distinct des autres matériaux solides de la croûte terrestre. Comme cela est bien connu, il a pu démontrer cette thèse et permettre ainsi à ses contemporains de saisir, grâce à un exemple frappant de synthèse réussie, les bases du travail créatif dans l'étude de la nature.

Toutefois, ce type d'événements sont rares dans l'histoire de la science et dans la vie scientifique actuelle. D'ordinaire, les débats ne touchent pas aux hypothèses fondamentales de la vie scientifique. Les gens n'en parlent pas ; ils les oublient. En y réfléchissant, on se convainc aisément que les concepts de corps naturel et de phénomènes ou processus naturels sont à la base de toute les sciences naturelles. Dans nos commentaires ultérieurs, nous ne toucherons qu'à la biosphère et considérerons seulement

↳ les processus impliquant la matière vivante.

Les scientifiques n'étudient dans la biosphère que les objets qui y sont générés par des forces internes et que les processus qui naissent de ces forces. Les objets qu'ils traitent peuvent être appelés *corps naturels, véritables ou réels, de la biosphère*. La tâche de la science consiste à estimer, décrire et définir tous les corps et les processus naturels qui existent ou ont existé dans la biosphère. Ce travail implique des générations de scientifiques, et des milliards et des milliards de faits ainsi que de généralisations scientifiques – c'est-à-dire des corps et des processus naturels – que l'on peut saisir de façon scientifique, dont on peut rendre compte et que l'on peut mettre en système. C'est la base de la science ; à partir de là, on construit des généralisations empiriques, avant de revenir aux corps et processus naturels.

C'est par ce processus que l'on génère le contenu de base de la science ; contenu dont, curieusement, il n'existe pas jusqu'à maintenant d'expression faisant l'unanimité. J'en suis venu à l'appeler *appareillage scientifique*. Cet appareillage a commencé à se former en astronomie des milliers d'années avant notre ère et nous a été transmis sous forme de données numériques sur les positions du Soleil, des étoiles, et des planètes dans les recueils helléniques (Hipparque, Ptolémée). Ce travail a été relancé au Moyen Age dans l'Asie centrale. Les chroniqueurs rapportent sans cesse des descriptions précises de comètes, de météorites, de boules de feu, etc. Au début du XIV^e siècle, une accumulation rapide de ce type de matériel a permis les premières généralisations. Mais même en astronomie, le processus de base, se développant constamment et rapidement à partir de ce point, n'a vraiment commencé à grande échelle qu'au XVIII^e siècle. Dans ce siècle – le siècle des *sciences naturelles descriptives* – les tentatives d'observer, de décrire et de rendre compte précisément de chaque corps naturel, ainsi que d'enregistrer tout phénomène naturel, devinrent une tâche consciente des sciences naturelles exactes. Linné (1707-1778), se basant sur les travaux des naturalistes qui l'avaient précédé, introduisit le concept de *système de*

la Nature et calcula pour la première fois le nombre d'espèces d'animaux et de plantes – espèces de la matière vivante homogène qui peuplaient la biosphère. En tout, il comptabilisa 13 724 espèces différentes d'organismes vivants, et beaucoup moins d'espèces de roches et de minéraux. Aujourd'hui, le nombre d'espèces de plantes approche les deux cent mille et excède peut-être les trois cent mille. Le nombre estimé des espèces animales approche les huit cent mille et atteint sans doute plusieurs millions, voire dépasse les dix millions. Le *système de la Nature*, pris dans ce sens large, correspond à ce que j'ai appelé *appareillage scientifique*.

L'accumulation colossale de données numériques correspondant aux propriétés chimiques et physiques de la matière – qui se déroule à la façon d'une boule de neige, sans cesse croissante avec le temps, obtenue principalement par des *expériences scientifiques* et non par l'observation de la biosphère ou par un travail scientifique commençant dans la biosphère, excède de plusieurs ordres de grandeur la quantité de corps naturels vivants et n'a pas de limites – rend selon moi la caractérisation de ces données comme un système naturel, peu claire logiquement, pleine d'inconvénients et inutile dans la pratique. Pour cette raison, le concept d'*appareillage scientifique*, que nous ne possédons que par le fait qu'il a été réduit à un système scientifique, est plus simple. Il comprend à la fois le système de la Nature et l'*appareillage scientifique* des communautés humaines, pleinement inspiré par la personnalité individuelle.

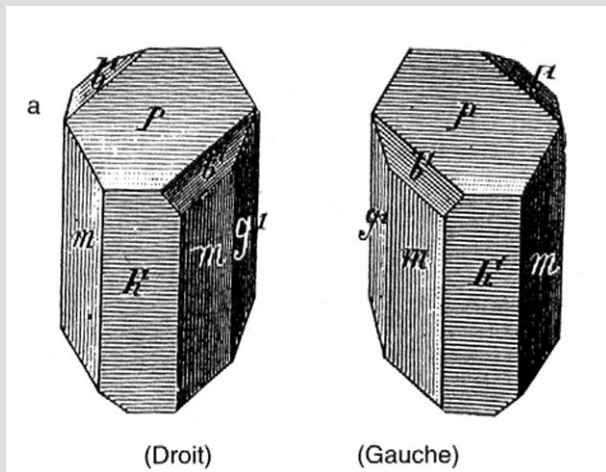
6. Tout objet de science naturelle est un corps naturel ou un processus naturel. A l'heure actuelle, des milliards de milliards, sinon plus, de corps et de processus naturels ont été scientifiquement réunis, enregistrés et définis dans le système de l'*appareillage scientifique*. Le nombre des corps et processus s'accroît constamment et le système de l'*appareillage scientifique* est en amélioration constante. De ce fait, nous sommes confrontés, de façon toujours plus critique, à une accumulation infinie de faits scientifiques. C'est à partir de celle-ci que l'on tire le contenu de base

de la science. Retravaillés par des généralisations scientifiques, des hypothèses conditionnelles et des théories, et soumis à l'analyse et à la déduction mathématiques, ils deviennent la *vérité scientifique*, dont la précision et la profondeur augmentent *avec chaque génération*.

Cette science exacte se distingue de la philosophie, de la religion et de l'art, où *il n'existe pas d'appareillage scientifique* et où la vérité scientifique, parfois révélée par une intuition créatrice, ne peut être acceptée que lorsqu'elle a été scientifiquement validée. Cette intuition créatrice est parfois bien en avance sur la compréhension scientifique et dans ces domaines de la créativité humaine, les vérités scientifiques de l'avenir se dévoilent parfois, encore floues pour les contemporains. Cependant, nous ne pouvons les traiter en dehors de la science, sans les fonder sur l'*appareillage scientifique*.

7. Il est possible de distinguer trois types de corps naturels dans la biosphère : les corps *vivants* (plantes, insectes, etc.), les corps *inertes* (pierres, quartz) et les corps *bio-inertes* (sol, eau des lacs, etc.)

La biosphère se décompose en domaines nettement délimités que sont les corps vivants, inertes et bio-inertes – les eaux, la matière vivante, les roches montagneuses, l'air, etc. Il y a une transition des corps vivants vers les corps inertes au moment de la mort ; lorsque les corps vivants cessent d'exister en tant que tels, ils se transforment en roche organogénique (par exemple les biolithes) et en corps inertes comme les gaz. Les biolithes sont souvent des corps bio-inertes. On n'a jamais observé de génération spontanée d'un organisme vivant à partir de corps inertes : le principe de F. Redi (toute vie vient de la vie) n'est jamais violé. *Le concept de corps naturels inertes (morts) et vivants* en tant qu'objets naturels bien distincts est une notion ancienne, enseignée au long des millénaires – un concept relevant d'un sain bon sens. Il ne peut pas être mis en doute et est clairement intelligible pour tous. Après des siècles de travaux scientifiques, on n'a relevé que très peu de cas douteux où l'on se demande si un corps naturel spécifique doit être considéré comme un corps vivant ou inerte, ou encore si un phénomène



Tartare de soude et de sodium. Vernadski considère que Pasteur est le premier à avoir attiré l'attention sur l'importance fondamentale de la chiralité pour la compréhension de la vie.

naturel donné est une manifestation de processus vivants ou non vivants. La question des virus relève de ces rares cas et c'en est sans doute l'illustration la plus profonde. [...]

8. Le concept de *corps naturel bio-inerte* est nouveau – défini en termes biogéochimiques précis et distinct des concepts de corps naturels vivants et inertes. Les corps naturels de ce type se manifestent très clairement dans la biosphère et jouent un grand rôle dans son organisation. *Les corps bio-inertes sont caractéristiques de la biosphère.* Ce sont des structures légitimes, se composant simultanément de corps vivants et inertes (les sols, par exemple), pour lesquelles les *propriétés physico-chimiques* exigent des corrections – parfois très grandes – par rapport aux résultats que l'on obtiendrait si, en les étudiant, on ignorait l'activité de la matière vivante qui y existe. La migration biogénique des éléments chimiques (les atomes) joue un grand rôle dans leurs propriétés – très souvent un rôle dominant.

Tout sol est un corps bio-inerte typique, comme le reconnaissait déjà clairement V.V. Dokoutchaïev. La très grande majorité des eaux terrestres sont des corps bio-inertes. Les cas où la matière vivante ne joue pas un rôle fondamental sont très isolés.

Le processus d'altération des roches est un processus bio-inerte – fait habituellement oublié. Ce fait explique à mon sens l'arriération de ce domaine de la biologie chimique (l'altération de la croûte terrestre) par rapport au niveau actuel de la

connaissance. L'approche biogéochimique devrait contribuer grandement à résoudre ce problème.

9. Jusqu'ici, je n'ai pas franchi les bornes des concepts : matière vivante, biosphère, corps et processus naturels (inertes, vivants et bio-inertes) – concepts basés sur un énorme matériau d'expériences et observations empiriques. Ces concepts ne peuvent soulever aucun doute théorique et ils ne nécessitent pour être compris aucune nouvelle hypothèse scientifique ou construction théorique. On peut donc procéder calmement au travail, si fructueux en science, de la généralisation de faits scientifiques accumulés et de leur construction en système.

Toutefois, pour la compréhension de ce qui va suivre, je dois nécessairement toucher à deux nouveaux phénomènes de grande importance, dont l'étude scientifique ne peut être effectuée sur la base de simples généralisations de faits scientifiques, mais qui nécessitent l'introduction de nouveaux concepts et la recherche d'une nouvelle forme de cognition de ces faits. Chacun de ces phénomènes est encore très peu compris d'un point de vue théorique et leur importance scientifique n'est pas reconnue. Ils se trouvent aujourd'hui à la frontière de la connaissance scientifique contemporaine. Il s'agit, premièrement, du concept de *chiralité* (dissymétrie moléculaire) et deuxièmement du concept d'*énergie biogéochimique*.

La chiralité est un concept qui existe depuis les temps anciens

mais qui n'a presque jamais été abordé de façon scientifique ou philosophique. Louis Pasteur est le premier à avoir attiré l'attention sur son importance fondamentale pour la compréhension de la vie – de l'organisme vivant, de la matière vivante. Indépendamment de Pasteur, et quelque peu auparavant, Beshan avait réalisé la même chose. Néanmoins, Pasteur comprit la question plus profondément et y identifia un phénomène qui nous permet de pénétrer de façon scientifiquement précise dans ce domaine immense, dont le savant français lui-même ne pouvait prévoir la pleine signification.

Le concept d'énergie biogéochimique fut introduit par moi en 1925, dans mon rapport à la Fondation Rosenthal à Paris, rapport qui ne fut jamais publié intégralement. Dans mon livre, je traite cette question aussi complètement que possible aujourd'hui. Examinons d'abord la question de la chiralité dans sa relation à la matière vivante de la bio-sphère.

10. Nous n'avons besoin, ici, de traiter du cas de A. Beshan, naturaliste profond et bon expérimentateur. Contemporain, ennemi et rival de Pasteur, il lui survécut plusieurs années mais fut incapable de trouver les conditions nécessaires à un travail systématique. Il est parti exactement du même fait que Pasteur – la découverte, au début du XIX^e siècle, dans une petite entreprise alsacienne, de la transformation de l'acide racémique ou ses sels en acide tartrique gauche, pendant le développement de la lie de vin (levure). Sur cette base, on a pu établir la production d'acide tartrique gauche. Pasteur et Beshan, tous deux chimistes chevronnés, voyaient dans cette action chimique de la levure, en tant qu'organisme vivant, une propriété unique et exclusive de la vie – la matière vivante – ; quelque chose de non compris, inhabituel, inconnu et apparemment impossible à réaliser par des réactions chimiques ordinaires. Penser et remarquer ces faits – voir le problème qu'ils recelaient – était déjà un grand accomplissement, mais ce n'était qu'une première étape. Il fallait encore étudier le phénomène et l'exprimer en faits scientifiques précis.

Les circonstances de la vie de Bes-

han ne le lui permirent pas. Pasteur, de son côté, relia le nouveau phénomène avec la propriété très spéciale des cristaux énantiomorphes, caractérisant – sous l’influence de la vie – les acides et les sels racémiques. Un énantiomère était produit – le gauche ou le droit seulement, mais pas l’autre, peut être consommé par l’organisme. Pasteur y vit une violation nette de la loi de symétrie cristalline. Cette violation tenait au fait que des formes énantiomorphes manifestaient des degrés de stabilité complètement différents à l’intérieur des corps vivants, faisant preuve de comportement chimique très différent – jamais observé autrement dans les corps naturels inertes. Evidemment, puisque ces derniers sont incapables de produire cet effet.

Il appela ce phénomène *dissymétrie* mais n’attira pas l’attention dessus et ne le relia pas aux chiralités que l’on retrouve normalement dans la matière vivante, dans ses structures morphologiques et physiologiques. Il étudia le phénomène comme un cristallographe et un chimiste, mais pas comme un biologiste. Pasteur lui-même ne fournit pas de définition précise de la dissymétrie et ne considérait pas les changements intervenus en cristallographie lorsqu’il retourna à ces problèmes à la fin de sa vie.

Mais la découverte par Pasteur de la dissymétrie moléculaire, complètement analogue à la dissymétrie des cristaux polyhédriques, fut beaucoup plus importante. Il lança ainsi une science complètement nouvelle, la stéréochimie. La chimie s’enrichit ainsi du concept d’*asymétrie* (c’est-à-dire l’absence de symétrie dans la configuration spatiale environnant un atome de carbone). Ce terme est utilisé dans des sens complètement différents en chimie et en physique, ce qui génère des confusions.

11. Une confusion survint qui interféra avec ces travaux. La dissymétrie moléculaire, découverte par Pasteur, montrait qu’il apparaissait dans les formes chimiques reflétant la présence de matière vivante, y compris dans les solutions, *une non-équivalence des structures atomiques gauche et droite. Elles sont chimiquement distinctes dans la matière vivante, mais chimiquement identique dans un milieu chimique inerte.* Pasteur ne savait pas qu’il

s’agissait essentiellement (comme on le découvrit après sa mort) du même phénomène que celui qu’il avait découvert dans les cristaux. Il avait affaire à un arrangement spatial d’*atomes* sous formes de spirales gauches et droites, analogues à la structure atomique dans les molécules. Cette conclusion émergea de façon précise à partir du concept d’*espace cristallin* – pour utiliser le langage contemporain – élaboré géométriquement par E.C. Fedorov et K. Schoenflies à la fin du siècle dernier. Dans la coïncidence des 230 groupes (en fait 219) avec les arrangements des atomes dans l’espace cristallin, E.C. Fedorov voyait, correctement, une preuve de la structure atomique des composés chimiques. Ceci fut définitivement démontré au ^{xx}e siècle grâce à l’analyse des cristaux par rayons x. Les contemporains de Pasteur – Zeeber, Ampère et Goden – l’avaient pressenti, mais Pasteur n’était pas atteint par l’influence de leurs idées. Après Pasteur, Pierre Curie généralisa le concept de dissymétrie, considérant le phénomène découvert par Pasteur dans les organismes vivants comme un cas particulier, et appliquant le concept de dissymétrie aux phénomènes physiques en général – champs magnétiques, électriques, etc. – en le posant comme un postulat de base. Cependant, Curie ne put développer complètement ses idées ; son travail fut interrompu en plein essor par sa mort soudaine. On ne retrouva pas, dans ses papiers, de présentation cohérente de ses résultats. Il suffit de noter que Curie démontra l’existence de formes différentes de « dissymétrie » et conclut logiquement que des phénomènes reliés à une forme donnée de dissymétrie devaient avoir des causes possédant la même forme de dissymétrie. On a l’habitude d’appeler cette conclusion le *principe de Curie*.

A cette étape, je crois qu’il est plus correct de laisser de côté le concept et le terme de dissymétrie, et d’employer plutôt la conception plus ancienne, mieux connue, de la différence dans les organismes des orientations main-gauche ou main-droite (chiralité), qui se manifeste si profondément chez l’homme. Puisqu’il existe une théorie (à mon avis fautive) sur l’émergence supposée de la chiralité chez l’homme qui ne serait intervenue qu’au Néolithique,

il vaut mieux utiliser la conception plus générale que Curie employait avant sa mort, sur *la distinction entre différents états de l’espace*. Il ne put élaborer ce concept avant sa mort mais cela correspond parfaitement, en essence, aux différentes formes de géométrie sur lesquelles travaillaient Curie et Pasteur.

Ce concept était largement connu chez les naturalistes travaillant dans le domaine des sciences naturelles descriptives et persista dans tout le ^{xviii}e siècle. Le sujet avait souvent trait aux différents états de l’espace sur notre planète, liés à son mouvement orbital autour du Soleil... Pasteur reconnut la possibilité d’états différents de l’espace cosmique et expliquait ainsi le phénomène de la dissymétrie de la matière vivante, découvert par lui. En fait, nous devrions voir dans l’état de l’espace le substrat géométrique de base pour tous les phénomènes temporels et énergétiques qui s’y déroulent.

Dans le cas présent, ce sera un état de l’espace dans lequel les énantiomères gauche et droite, exprimées sous formes de structures atomiques spirales gauche et droite, sont identiques dans la matière inerte et différentes dans la matière vivante. On n’a pas accordé assez d’attention à ce fait, qui est l’une des propriétés géométriques les plus profondes des corps naturels, que ce soit en philosophie, en mathématique ou en sciences de la nature. Mais chacun de nous y est très familier dans la vie courante. Nous le savons depuis notre enfance, puisque l’être humain est un corps vivant naturel dans lequel les énantiomères droite et gauche sont nettement distinctes l’une de l’autre (y compris en termes chimiques). Par exemple, les gauchers représentent une personne sur 16 000. Ce phénomène a commencé, ces temps derniers, à attirer une plus grande attention, encore insuffisante à mon avis, en biologie.

Les mathématiciens – en particulier les géomètres – ne peuvent plus l’ignorer mais doivent élaborer ce phénomène géométrique fondamental... Je pense qu’il est pertinent de parler, dans ce contexte, d’espace-temps physique, comme Helm-holtz le proposa.

12. Il nous faut encore discuter d’un autre phénomène, qui a été à peine abordé par des généralisations

scientifiques – celui de *l'énergie active de la matière vivante dans la biosphère*. R. Maïer, il y a presque cent ans, considérait déjà les manifestations de la matière vivante. Il montra que dans les minéraux organogéniques – les gisements houillers – nous avons affaire à une accumulation d'énergie libre, développée sous cette forme par la matière vivante au Carbonifère, en utilisant l'énergie solaire de cette époque. La forme générale de l'idée – la création et l'accumulation d'énergie libre dans la biosphère par la matière vivante et les processus naturels connectés à la matière vivante – naquit dans beaucoup d'esprits au milieu du XIX^e siècle, au moment où le concept d'énergie était développé.

Je veux en parler plus concrètement ; non pas comme d'une question de base sur la structure énergétique de notre planète mais comme un problème biogéochimique. L'énergie libre générée par la matière vivante dans la biosphère, convertie en travail, liée au mouvement des atomes et au mouvement de la matière vivante, fut appelée par moi en 1925 *énergie biogéochimique* (voir § 17). Etant donné que c'est l'énergie biogéochimique qui distingue nettement la matière vivante de la matière inerte, il est indispensable de mentionner ici ses caractéristiques fondamentales.

13. L'énergie biogéochimique de la matière vivante est intimement liée à trois caractéristiques fondamentales de la matière vivante dans la biosphère : d'abord, *l'unité de toute la matière vivante de la biosphère* ; ensuite, la génération constante, dans la biosphère, *d'énergie libre capable de produire du travail* ; enfin, *la colonisation de la biosphère par la matière vivante*.

Dans chacun de ces trois cas, l'énergie biogéochimique se manifeste différemment ; prise globalement, *l'énergie biogéochimique est inhomogène*. En dernière analyse, elle est liée au mouvement de la matière vivante dans la biosphère, aux autres déplacements, actifs ou passifs (liés à la matière vivante), connectée avec la mobilité des masses dans la matière vivante de la biosphère, finalement réductible au mouvement des atomes et des éléments chimiques.

A partir de ce que j'ai dit, il est clair



Pierre Curie généralisa le concept de dissymétrie, considérant le phénomène découvert par Pasteur dans les organismes vivants comme un cas particulier, et appliquant le concept de dissymétrie aux phénomènes physiques en général – champs magnétiques, électriques, etc. – en le posant comme un postulat de base. Cependant, Curie ne put développer complètement ses idées ; son travail fut interrompu en plein essor par sa mort soudaine.

que l'énergie biogéochimique n'est pas une forme spéciale d'énergie appartenant à la vie. Ce n'est pas *l'énergie de la vie* que recherchait W. Ostwald, analogue à l'énergie thermique, chimique, lumineuse ou électrique. Elle n'est pas concernée par la loi de conservation de l'énergie mais apparaît dans ce contexte sous des *formes d'énergie déjà connues auparavant*.

Nous pouvons maintenant remonter avec précision à la source réelle de l'énergie biogéochimique. Cette source, en dernière analyse, est l'énergie rayonnante (lumineuse, thermique et chimique [c'est-à-dire ultraviolette, *NdT*]) du Soleil et l'énergie des éléments chimiques dont sont constitués les corps de matière vivante (énergie thermique et chimique). Il y a probablement une contribution des atomes radioactifs.

Un calcul quantitatif exact des effets thermiques des processus vivants établit sans aucun doute, à mon avis, la source de cette action. Il s'agit, essentiellement, du résultat de *l'organisation de la biosphère et de l'organisation de la matière vivante* qui peuple la biosphère.

Je ne puis ici avancer davantage sur ce sujet. Je voudrais simplement mentionner les principales formes de manifestation de cette

organisation. La plus importante, c'est *l'énergie biogéochimique, reliée à la colonisation de la planète*. J'ai essayé de la calculer, pour chacune des espèces de matière vivante, sous forme de *vitesse maximum de propagation de ce type de matière vivante* – comme j'ai essayé, peut être sans succès, de définir ce terme auparavant – ; autrement dit, la vitesse de colonisation de la planète entière par l'organisme donné. Cette énergie est liée à la *reproduction des organismes vivants*. Chaque forme de matière vivante peut se propager de cette façon à une allure bien déterminée, spécifique à chaque forme de matière vivante, et peupler ainsi théoriquement la planète entière. Dans le cas le plus rapide, celui des bactéries, cette colonisation peut être réalisée en un jour et demi ; alors que pour l'éléphant – l'un des organismes les plus lents à se reproduire – cela prendrait mille à mille cent années. Pour une colonisation complète de la planète, la matière vivante doit couvrir toute la surface de la planète...

Lorsque je parle de colonisation de la planète, j'é mets l'hypothèse que cette colonisation interviendrait dans des conditions telles qu'elle pourrait se dérouler normalement si elle n'était pas limitée par le manque d'espace. La vitesse de colonisation,

↗ exprimée par la grandeur V , peut varier dans une gamme très vaste, allant d'une vitesse proche de celle du son, plus de 33 000 cm/s (pour certaines bactéries) à quelques centièmes de centimètre par seconde (dans le cas de l'éléphant).

En d'autres termes, nous discutons de la population durable, à long terme, de la planète par un organisme vivant dans ses conditions normales, dans lesquelles il peut exister pendant des générations ; et non de ces *explosions* de vie où l'excès d'organismes vivants est régulé par la mort, due à l'insuffisance de nutriments ou d'espace.

Ces conceptions ne sont pas encore entrées dans la conscience scientifique. Je suis convaincu que l'avenir verra leur emploi. Il faut noter que la vitesse du son correspond à des conditions réelles, dans lesquelles le milieu de respiration dans lequel vit l'organisme – même dans le cas d'organismes aquatiques (dans les eaux naturelles, il existe une atmosphère sous-marine) –, n'est pas détruit. Ceci montre que

l'énergie biogéochimique, sous cette forme, a presque atteint ses limites physiques...

Cependant, l'énergie biogéochimique de la population ne subsume pas toutes les manifestations de cette énergie. Je mentionnerai encore deux de ses formes.

D'abord, la production de la *masse d'un organisme vivant* et son *maintien* par le métabolisme à *une valeur constante* pendant la durée de son existence.

Et deuxièmement, la grande forme nouvelle d'énergie biogéochimique que constitue le processus de travail de l'espèce humaine dans la biosphère, qui est dirigé de façon complexe par la pensée humaine – la conscience. Il est remarquable de constater que la croissance des machines au cours du temps, au sein de la structure de la société humaine, suit aussi une progression géométrique, tout comme la reproduction de la matière vivante, y compris des êtres humains. Cette manifestation de l'énergie biogéochimique n'a pas encore été du tout, à ce jour, abordée

par les études scientifiques.

Il est maintenant indispensable d'orienter les travaux scientifiques vers ce domaine de la biogéochimie, non seulement à cause de sa grande importance théorique mais aussi, à mon avis, en vue de son importance certaine pour les devoirs de l'Etat. Il est nécessaire d'approcher le processus autodéveloppant de transition entre la biosphère et la noosphère, qui se déroule en ce moment, de façon consciente.

C'est donc une tâche de la première importance que de rassembler les faits et d'étudier les problèmes liés à l'énergie biogéochimique. Je ne doute pas que cela se fasse, un jour ou l'autre. J'espère y revenir dans mon livre.

La caractéristique distinctive de base de l'énergie biogéochimique se manifeste clairement et distinctement par l'accroissement de *l'énergie libre de la biosphère* avec le temps géologique et, de façon particulièrement radicale, lors de la transition de la biosphère à la noosphère.

II. Tableau sur la différence énergéto-matérielle fondamentale entre les corps naturels vivants et non vivants dans la biosphère

La distinction entre les corps naturels vivants et non vivants dans la biosphère se trouve dans les mêmes formes d'énergie que celles qui apparaissent dans les corps inertes. La composition chimique des deux types de corps naturel est bâtie sur le même type d'éléments chimiques – encore qu'il fut possible que le poids atomique de certains éléments change dans la matière vivante. Cette distinction fondamentale s'observe dans l'espace-temps de la matière vivante. Il est indispensable d'étudier, en même temps que la matière et l'énergie, les manifestations du temps dans les processus vivants. On peut admettre, sous réserve de vérification, l'hypothèse scientifique d'une structure de l'espace spécifique aux corps de matière vivante – structure ne correspondant pas à la géométrie euclidienne mais se trouvant à la base des propriétés énergéto-matérielles et temporelles de la matière vivante, la dis-

tinguant des corps naturels inertes de la bio-sphère.

14. Sur la base de tout ce qui est aujourd'hui connu de la biosphère, je vais maintenant essayer de résumer brièvement, *sans aucune hypothèse ou théorie*, la distinction essentielle entre la matière vivante de la biosphère et les corps naturels inertes, qui est si peu ambiguë et caractéristique de l'enveloppe terrestre, familière et proche de nous. Il me semble qu'il est nécessaire et important de le faire maintenant, avant la publication de mon livre – quelle que soit la date à laquelle elle aura lieu. Autant que je sache, cela n'a jamais été fait sous cette forme ; par conséquent, on n'a encore jamais pu discuter sur l'ensemble de cette question – le problème le plus important se trouve en dehors de la sphère du naturaliste.

Pourtant, il est extrêmement important que le naturaliste s'attache à

la compréhension d'un phénomène aussi essentiel dans la biosphère.

Dans ce contexte, il est important qu'ils aient à leur disposition non seulement des conceptions de la vie théoriques scientifico-philosophiques, qui occupent aujourd'hui la pensée des philosophes, mais des données beaucoup plus exactes qui sous-tendent la biologie et toutes ses « définitions de la vie » reposant sur ces données.

Dans le tableau ci-dessous, je crois que je me limite à ces généralisations empiriques et ne sort pas du domaine des faits scientifiques. Il faut maintenant concentrer son attention sur cet aspect de la question et prendre ces généralisations comme base de travail.

15. La distinction radicale, insurmontable, existant entre les corps vivants naturels et les corps naturels inertes de la biosphère peut être résumée dans le tableau suivant.

Corps inertes

Parmi les corps naturels inertes apparaissant de façon dispersée dans la biosphère, il n'y a pas de corps analogues aux corps vivants. Les formes inertes dispersées, tout comme les formes vivantes, sont concentrées dans la biosphère, mais les premières pénètrent jusqu'à des profondeurs plus grandes. Plus loin encore dans la couche de granite, il semble que les grandes pressions interdisent leur existence.

Ces corps inertes sont générés dans la biosphère par la mort de la matière vivante (par exemple les organismes microscopiques), à partir de leurs sécrétions et excréments, par le mouvement des phases liquides ou gazeuses dans les orages, dans les gisements pétroliers, etc. Ils sont aussi apportés dans la biosphère à partir des régions les plus basses par des gaz ou des uides, des explosions et éruptions volcaniques, des mouvements tectoniques. Ils sont produits par des processus physico-chimiques ordinaires et peuvent être produits synthétiquement dans nos laboratoires.

Les corps inertes dispersés entrent continuellement et sans interruption dans la biosphère – sous forme de poussière cosmique et de météorites – à partir de l'espace cosmique, de parties de la galaxie.

Les corps naturels inertes sont extrêmement hétéromorphes et ne manifestent pas de connexion génétique unifiée entre eux.

Les corps naturels inertes de la biosphère n'ont pas de caractéristique commune unifiante analogue à la cellule, au protoplasme ou à la reproduction, caractéristiques communes à tous les corps vivants naturels.

Dans les processus et les corps inertes naturels, il n'y a pas de distinction entre les propriétés chimiques des formes énantiomorphes d'un même composé chimique. Les orientations droite et gauche sont soumises aux lois strictes de la symétrie dans les solides homogènes (monocristaux). En particulier, les quantités de monocristaux gauche et droite d'un même composé chimique sont identiques. Les « gouttelettes dispersées », c'est-à-dire les cristaux homogènes – individus de composition chimique solide, diffèrent fortement dans leur structure interne de la géométrie euclidienne ordinaire (isotrope), mais ils ne sortent pas du cadre de cette géométrie.

Les formes énantiomorphes des corps naturels inertes sont géométriquement et chimiquement identiques. Elles apparaissent toujours en quantité égale et ne sont pas chimiquement distinguables. On peut même dire que cette identité, en termes chimiques, des formes énantiomorphes, est l'expression nécessaire de la structure atomique des composés solides homogènes et de l'espace géométrique euclidien, exprimés en termes physiques et matériels. C'est une manifestation de la base atomique de la construction, d'une part, et de la géométrie euclidienne, d'autre part.

Corps vivants

Les corps naturels vivants n'existent que dans la biosphère et uniquement comme corps dispersés (discrets), sous forme d'organismes vivants ou de leurs agrégats – la matière vivante. On les observe à la fois à l'échelle macroscopique (celle des effets gravitationnels) et à l'échelle microscopique.

La synthèse artificielle des corps naturels vivants n'a jamais été réalisée. Ceci indique qu'une condition fondamentale est nécessaire pour cette synthèse, condition absente du laboratoire.

Pasteur pensait que la cause en était l'absence de dissymétrie – un état de l'espace particulier – dans les conditions de laboratoires (voir § 10-11).

L'entrée de corps vivants dans la biosphère à partir de l'espace extraterrestre est concevable mais n'a pas été prouvée jusqu'à maintenant.

Les corps naturels vivants se présentent comme un tout unifié – la matière vivante dans la biosphère – aussi bien *morphologiquement*, ayant la même unité *morphologique* – la cellule, que dans leurs structure et matériau, ayant le même protoplasme ; et, finalement, qu'en *termes dynamiques*, *puisque possédant toujours le potentiel de reproduction*.

On peut difficilement nier que cette unité de tous les corps naturels vivants soit reliée à leur unité génétique au cours du temps.

La distinction chimique entre les formes énantiomorphes d'un même composé chimique caractérise un état de *l'espace physique*, occupé par le corps d'un organisme vivant, et son action sur le milieu environnant, la biosphère. Cette différence chimique se manifeste fortement dans les produits solides (cristallins et mésomorphes) et liquides générés par les processus biochimiques des organismes vivants. Ce sont soit les isomères gauches, soit les isomères droits, qui prédominent. Ce phénomène se manifeste clairement et profondément dans les propriétés de la matière vivante de la biosphère, jusqu'aux molécules qui composent les corps vivants. Les lois de symétrie de l'état solide cristallin sont violées de façon radicale.

Ces états de l'espace, occupés par les corps de matière vivante, ne sont générés dans la biosphère qu'à partir de corps naturels vivants déjà existants. Ils sont générés par naissance (principe de Redi). On peut voir là une expression du principe de Curie (voir § 11).

Il semble que Pasteur avait raison, que *pour les composés chimiques premiers, essentiels pour la vie, seuls les isomères gauches apparaissent* dans le corps d'un organisme vivant (dans son espace physique). Les isomères droits n'apparaissent pas ou bien sont retransformés par les organismes. Malheureusement, ce phénomène de portée considérable,

qui pourrait facilement être établi, n'a pas encore été vérifié et ne reste que très probable.

De nouveaux corps naturels inertes sont générés dans la biosphère par des processus physico-chimiques et géologiques, sans relations avec des corps naturels existant antérieurement, vivants ou inertes ; ils sont formés d'innombrables manières à partir de corps naturels qui ne ressemblent en général pas aux corps produits.

Les corps inertes peuvent se former dans les corps vivants naturels. Toutefois, on n'observe rien de ce qui pourrait ressembler à une reproduction biologique dans la formation des corps naturels inertes de la biosphère.

Chez les corps inertes de la biosphère, on n'observe pas de type de changement analogue au processus évolutif de la matière vivante. De façon générale, nous trouvons dans la biosphère actuelle exactement les mêmes corps naturels inertes et les mêmes phénomènes de formation de ces corps que ceux qui ont existé sur une période d'au moins deux milliards d'années. Au cours du temps géologique, de nouveaux corps naturels inertes n'ont émergé que sous l'influence de l'évolution de la matière vivante. La création de ces nouveaux corps inertes intervient de façon puissante et radicale – avec une envergure croissante – dans la *noosphère* de l'époque actuelle, comme conséquence de la créativité humaine.

Un nouveau corps naturel vivant, un organisme vivant, ne peut naître que d'un autre organisme auquel il est similaire. Pour chacune des espèces de matière vivante, il y a alternance de générations, qui procèdent dans le temps à une allure bien définie (principe de Redi).

Dans le temps géologique, au cours d'au moins deux milliards d'années, la matière vivante s'est révélée *plastique* – elle a suivi un processus de l'évolution des espèces. A l'évidence, de temps en temps, suivant des lois qui n'ont pas encore été élucidées – processus de mutation, en partie ? –, un nouveau *type* de matière vivante est généré : chez certains organismes vivants, une génération nouvelle apparaît, clairement distincte des générations précédentes, morphologiquement et physiologiquement transformée. Nous observons, depuis au moins deux milliards d'années, un *processus évolutif unique et unitaire*, intimement lié à l'histoire de la planète. Comme l'a montré Dana (1852), il y a un processus de génération, au sein de la matière vivante de la biosphère, de systèmes nerveux centraux de plus en plus puissants. Ce processus se poursuit inexorablement au cours du temps, mais avec des interruptions majeures de dizaines, voire de centaines de millions d'années.

Par ce fait, à la fin du Pléistocène, le rôle géologique de la matière vivante dans la biosphère s'est radicalement accru, accomplissant un bond. Grâce à la créativité humaine, la biosphère va rapidement vers un nouvel état – la *noosphère*.

Un corps naturel inerte – solide ou mésomorphe – n'a pas de propriétés spéciales de mouvement en tant que corps naturel simple. Il n'existe pas de telles propriétés dans les corps inertes gazeux ou liquides, composés de molécules au mouvement complexe qui épousent la forme du contenant dans lequel elles sont placées. Les corps gazeux exercent une pression sur les parois d'un contenant clos. Leur mouvement est régi par les lois de la température et de la pression.

Les solides ou les gaz vivants n'existent pas en tant que corps naturels. Les liquides et les gaz existant au sein d'un corps vivant sont mélangés à des structures colloïdales – mésomorphes ou solides.

Le mouvement volontaire, capable dans une grande mesure d'autorégulation, est l'une des marques de tout corps naturel vivant dans la biosphère.

Il existe deux formes de ce mouvement pour la matière vivante. L'un – *passif* – est produit par la multiplication et c'est une *propriété commune à toute matière vivante*. L'autre – *actif* – s'exprime chez la grande majorité des animaux et chez une minorité de plantes, par le mouvement volontaire des individus et de leurs colonies à proximité de la matière vivante.

La première forme de mouvement – mouvement d'expansion, de colonisation de la biosphère – est analogue aux lois caractéristiques des masses gazeuses ; selon celles-ci, elle exerce une pression dont la grandeur dépend du taux de multiplication (l'énergie biogéochimique de colonisation). Le taux de colonisation par la matière vivante dans les frontières de la biosphère approche le maximum physique – *la vitesse du son pour le milieu gazeux de la respiration*. Pour les organismes microscopiques, vivants dans les liquides, il y a encore une autre forme de mouvement, naissant du mouvement moléculaire dans les solides, qui nous a été révélée par le mouvement brownien.

toutes les conditions. Ils changent sous l'influence d'une action externe, le processus d'érosion biosphérique. Ce processus bio-inerte se déroule lentement au cours du temps géologique. Les corps inertes ne croissent pas et, apparemment, n'augmentent pas leur masse.

On ne trouve dans la matière inerte rien d'analogue à la *croissance* (et la reproduction) des organismes vivants. Comparer la croissance d'un cristal à celle d'un organisme vivant relève de la mécompréhension, et cela apparaît clairement dès la première analyse logique. Les atomes d'un corps inerte ne manifestent aucune des caractéristiques du mouvement propres à la migration biogénique des atomes.

Les corps naturels vivants vivent, c'est-à-dire croissent et se multiplient.

De ce fait, chaque organisme vivant est le centre et la source de la migration biogénique d'atomes, de la biosphère vers l'organisme et inversement. Dans le même temps, chaque organisme est source d'*énergie libre dans la biosphère* – énergie libre biogéochimique.

A travers des cheminements biochimiques, ce flux biogénique d'atomes donne lieu à la synthèse d'un nombre infini de molécules chimiques dans la matière vivante, en changement constant. Une grande partie des composés chimiques générés dans les organismes vivants peut être synthétisée par d'autres moyens au laboratoire. Cependant, la quasi-totalité de ces composés ne peut être créée dans la biosphère que par la matière vivante.

Cette synthèse par les organismes vivants a lieu à des taux incroyablement élevés par rapport à ceux que l'on observe en laboratoire.

De ce fait, l'énergie biogéochimique apparaît, en termes de puissance, comme la force fondamentale de changement de la biosphère.

Le nombre de corps naturels inertes dans la biosphère est déterminée par les propriétés générales de la matière et de l'énergie. Il ne dépend pas des dimensions de la planète.

La biosphère absorbe constamment de la matière et de l'énergie venant des espaces extraterrestres et elle en émet vers eux. Il y a un échange constant de matière et d'énergie à travers les corps naturels inertes.

Apparemment, nous voyons un équilibre dynamique maintenu – manifestation de la même organisation (mais pas du même mécanisme) caractéristique de la biosphère et de la matière vivante.

Le nombre des corps naturels vivants dans la biosphère est quantitativement relié aux dimensions de celle-ci.

Le volume et les régions d'apparition des corps naturels inertes de la biosphère sont limités par ses dimensions et ne peuvent s'accroître que par l'expansion de la biosphère.

A l'évidence, la biosphère s'étend au cours des temps géologiques par le mouvement de la matière vivante. Dans ce processus, les corps naturels inertes de la biosphère jouent un rôle passif.

La masse de matière vivante dans la biosphère est proche de la limite et, à l'évidence, reste une constante *actuelle à l'échelle des temps historiques*. Elle est déterminée avant tout par l'énergie du rayonnement solaire qui tombe sur la biosphère et par l'énergie biogéochimique de colonisation de la planète.

A l'évidence, la masse de matière vivante augmente avec le temps géologique, et le processus de conquête de la Terre par la matière vivante n'est pas terminé.

Les dimensions minimales d'un corps naturel inerte de la biosphère sont déterminées par la nature dispersive de la matière et de l'énergie – par les atomes, les électrons, les neutrons, etc. Leurs dimensions maximales sont déterminées par les dimensions de la biosphère – un corps naturel bio-inerte. La gamme d'échelle est énorme – 10^{40} ou même, probablement, encore plus.

Les dimensions minimales d'un corps naturel vivant sont déterminées par la respiration, c'est-à-dire la migration biogénique d'atomes gazeux (et en dernière analyse, par le nombre de Loschmidt). Ces dimensions sont de l'ordre de 10^{-6} cm. Les dimensions maximales n'ont pas excédé quelques centaines de mètres au cours des deux derniers milliards d'années. Les raisons n'en sont pas claires. La gamme d'échelle est réduite : 10^9 .

La composition chimique d'un corps naturel inerte dans la biosphère est fonction de la composition et

La composition chimique de corps vivants naturels est générée *par l'action de ces corps mêmes*. Par la nutrition et la respiration, ils sélectionnent les éléments chimiques

des propriétés du milieu environnant, *dans lequel il se forme*. Elle est déterminée de façon passive par la structure de la biosphère dans le temps géologique.

nécessaires à leur existence et à la génération de nouveaux corps naturels vivants (autarcie de la matière vivante). A l'évidence, ils peuvent changer les rapports isotopiques au cours de ce processus (changer le poids atomique des éléments chimiques).

Ainsi, les organismes vivants créent eux-mêmes les parties essentielles de leurs corps et constituent des corps indépendants et autonomes, dans des limites bien définies, au sein de la biosphère – le grand corps bio-inerte de la planète.

Le nombre des différents composés chimiques – molécules et cristaux – dans les corps naturels de la biosphère (et du noyau de la Terre) est *limité*. Il existe plusieurs milliers de ces molécules et cristaux. Ceci détermine le très petit nombre de formes de corps naturels inertes dans la biosphère.

Le nombre de composés chimiques dans les corps naturels vivants est *illimité*. Ceci est lié à l'individualité et à la distinction de chaque être vivant particulier. Nous connaissons déjà des millions d'espèces d'organismes et des millions de millions de molécules et de formes cristallines distinctes contenues en eux. Bien qu'une petite partie seulement ait été décrite, il n'y a pas de doute quant à leur caractère.

Tous les processus naturels dans le domaine des corps inertes naturels – à l'exception de la radioactivité – réduisent l'énergie libre de la biosphère (les processus physico-chimiques sont réversibles). De cette manière, *l'énergie libre* de la biosphère se réduit et *l'entropie* s'accroît.

Les processus naturels de la matière vivante ont pour effet sur la biosphère d'accroître son énergie libre (c'est-à-dire diminuer son entropie).

Il en résulte un *accroissement de l'énergie libre de la biosphère* montrant l'effet fondamental de la matière vivante sur la biosphère – et sur la planète entière.

La composition chimique des corps naturels inertes peut correspondre presque exactement à des composés chimiquement purs théoriques, avec des proportions stochiométriques précises entre éléments. Dans les minéraux, les solutions solides prédominent (mélanges isomorphes).

Les atomes libres des éléments chimiques sont dispersés dans tous les corps inertes. Ils pénètrent toute la matière terrestre, sans entrer dans la composition de molécules et sans entrer toujours dans les nœuds de réseaux cristallins. Aujourd'hui, nous connaissons l'existence de deux processus permanents de dispersion des atomes : la pénétration de rayonnement cosmique et la radioactivité, qui causent en permanence la dispersion d'éléments – toujours éphémère – dans la matière inerte terrestre de la biosphère. L'importance de ce phénomène commence tout juste à nous apparaître. Il nécessite des études théoriques et expérimentales.

Dans la matière vivante de la biosphère, nous trouvons toujours un mélange extrêmement complexe de molécules chimiques. Ce sont toujours des corps de structure mésomorphes (colloïdale ou plus rarement cristalline). Les *molécules d'eau*, liées chimiquement et physiquement, mais gardant dans une grande mesure leurs propriétés caractéristiques, sont largement prédominantes. Elles constituent entre 60 et 99 % (parfois plus) du poids de la matière vivante. Dans les états latents de matière vivante, la quantité de ces molécules varie entre 4 et 15 % (et parfois moins).

Il n'existe pas de proportions stochiométriques pour la composition chimique brute des corps vivants. En effet, cette composition chimique est strictement définie et plus constante que les mélanges isomorphes de minéraux naturels. Cette composition est typique d'une *espèce ou race donnée et elle constitue une signature caractéristique de chaque matériau vivant*.

Du point de vue de la matière vivante prise dans son ensemble, il n'y a pas d'éléments chimiques biogéniques. Tous les éléments de la biosphère sont embrassés par la matière vivante. Toutefois, pour chaque élément chimique impliqué dans la biochimie de la bio-sphère, il existe des organismes vivants caractéristiques, dont l'activité concentre cet élément et qui sont distincts des autres organismes par cette propriété. *C'est ici que l'action de la matière vivante manifeste clairement son caractère planétaire.* [...]

A l'exception des éléments radioactifs, les rapports isotopiques des mélanges d'isotopes (d'éléments chimiques terrestres) apparaissant dans les corps naturels inertes ne changent pas de façon significative.

A l'évidence, le changement de la composition isotopique (le poids atomique) au sein des organismes vivants, dans certaines proportions, définit *une propriété caractéristique de la matière vivante*. Cela a été

Evidemment, il existe des processus naturels *en dehors des limites de la biosphère* – par exemple, les mouvements de gaz à haute pression et haute température dans le noyau terrestre – qui peuvent changer les rapports isotopiques. [...] L'une des tâches les plus importantes de la géochimie, actuellement, est d'obtenir une définition du poids atomique des éléments chimiques des corps inertes, plus précise que ce que permettent les moyens chimiques.

prouvé pour l'hydrogène, le carbone et le potassium, et c'est probable pour l'azote et l'oxygène. Ce phénomène demande des investigations précises. Il est maintenant plus que probable qu'un élément chimique change sa composition isotopique lorsqu'il entre dans un organisme vivant.

Ce processus devant être relié à la dépense énergétique, nous pouvons nous attendre à observer, dans la migration biogénique, un délai considérable dans la sortie de ces éléments du cycle de migration biogénique. Ce phénomène a été noté par K. M. von Beer pour l'azote. Il est possible qu'il s'agisse d'un phénomène général.

L'écrasante majorité des corps naturels solides et mésomorphes de la biosphère sont caractérisés par leur stabilité au cours des temps géologiques – plus de deux millions d'années. Ceci s'explique par le petit nombre de leurs formes. W. Bragg a dit, à juste titre, que parmi les structures cristallines (et, bien sûr, moléculaires) du Cosmos, seules les plus stables et les plus simples sont apparues. Il me semble que nous pouvons y voir le résultat d'une stabilité à très long terme du Cosmos que nous étudions. L'étude de la radioactivité des roches montre que les atomes des matériaux de base de la lithosphère *n'ont pas changé leur position relative pendant des centaines de millions, voire deux milliards d'années*, tout en restant constamment en mouvement.

Le tableau change complètement lorsque l'on observe les corps vivants de la biosphère.

La grande majorité d'entre eux changent de forme avec le processus de l'évolution et se transforment en d'autres types ou espèces de matière vivante. *C'est la manifestation du temps de la matière vivante de la bio-sphère.*

Ce phénomène est beaucoup plus compliqué que nous l'imaginons dans notre compréhension actuelle de l'évolution. En fait, le processus évolutif n'a pas été jusqu'ici exprimé en termes quantitatifs et n'a pas été étudié (ce qui est maintenant possible) en termes de changement dans le taux de changement.

En dépit de la plasticité de la matière vivante, il existe des cas d'organismes manifestant une fixité totale. L'organisme ne change pas sa structure morpho-physiologique et reste dans la biosphère contemporaine comme un témoin vivant de la biosphère passée. Nous parlons ici de plusieurs centaines de millions d'années. [...] Malheureusement, *ce phénomène de constance morphologique* – la persistance – n'a pas été étudié par les biologistes. Il y a évidemment migration constante d'atomes au sein des corps vivants, qui contraste nettement avec leur immobilité chez les corps inertes. La méthode du radiomarquage commence à nous révéler un nouveau processus de substitutions biogéniques constantes au sein des molécules, où les atomes similaires échangent de place – *un ux biogénique d'atomes, intramoléculaire et ininterrompu.*

Tous les processus physico-chimiques dans les corps naturels inertes sont réversibles dans le temps. L'espace dans lequel ils interviennent – l'espace de la géométrie euclidienne – correspond à l'état cristallin isotrope ou anisotrope.

Les processus physico-chimiques qui forment les corps naturels vivants dans la biosphère sont irréversibles dans le temps. Il est possible que l'on montre un jour que c'est la conséquence d'un état spécial de l'espace-temps, ayant un substrat correspondant à une géométrie non euclidienne.

On peut en tout cas le prendre comme hypothèse scientifique de travail, susceptible de vérification. Dans la logique de cette hypothèse, nous devons admettre la possibilité qu'il existe dans notre réalité *un processus de transition entre des états de l'espace différents l'un de l'autre. L'existence de la matière vivante dans la biosphère terrestre en est l'une des manifestations.*



Explications supplémentaires

Sur l'admissibilité de la conception de différents états de l'espace-temps existant simultanément dans la biosphère.

Son hétérogénéité géométrique. Dans la biosphère, le temps doit être étudié comme la matière et l'énergie. L'hypothèse de travail d'un état géométrique particulier de la matière vivante de la biosphère, correspond à l'une des géométries riemanniennes.

16. Analysant le tableau ci-dessus, nous voyons que la distinction entre corps vivants et inertes dans la biosphère peut être réduite à trois paramètres fondamentaux : 1) la différence de caractéristiques énergétiques ; 2) la différence de caractéristiques chimiques ; et 3) la différence des caractéristiques spatio-temporelles.

Il me semble que les premiers paramètres ne requièrent pas de discussion spéciale du point de vue du travail scientifique. [...]

18. Toutefois, pour l'espace-temps, le problème devient beaucoup plus complexe. Nous entrons ici, d'une part, dans un domaine qui n'a pas encore été exploré scientifiquement et, d'autre part, nous traitons du substrat commun à tous les processus naturels (leur géométrie), substrat que le naturaliste est habitué à laisser de côté dans ses investigations scientifiques.

Ce substrat – l'état géométrique de l'espace physique – est plus fondamental encore que tous les processus physico-chimiques. Mais il est aussi, selon moi, encore plus réel qu'eux.

Aujourd'hui, on accepte généralement la conception – parfois même faussement posée comme axiome – suivant laquelle il n'y a qu'une seule géométrie sous-tendant tous les phénomènes terrestres. Le naturaliste ne peut cependant pas construire ses conceptions sur la base des axiomes, comme par parallogisme, parce que leur caractère axiomatique ne peut être démontré que par des expériences et des observations scientifiques. La logique est toujours moins complète que la

Nature (la biosphère dans ce cas), puisque la logique correspond à une abstraction, c'est-à-dire à une simplification de l'image de la Nature.

Lorsque nous considérons la possibilité de l'existence simultanée de géométries différentes sur notre planète, nous devons vérifier leur existence par les expériences et l'observation. Si le naturaliste rencontre des processus qui lui permettent de le confirmer par des expériences et de l'observation, il est obligé de le faire.

Avant notre siècle, les scientifiques fondaient leurs recherches sur la seule géométrie euclidienne tridimensionnelle. Dans les nouvelles conceptions scientifico-philosophiques, liées aux constructions d'Einstein, on considère un espace à quatre dimensions ; certains pensent que cet espace est plus riemannien qu'euclidien. La pensée en physique théorique recherche ici de nouveaux chemins, mais elle n'a pas encore mené l'analyse à son terme, comme l'exige la logique.

19. Avant d'aller plus loin, il est indispensable de clarifier, dans quelle mesure il est possible d'admettre dans notre réalité scientifique l'existence d'espaces caractérisés par des géométries différentes dans différents domaines.

Il me semble que les gens pensent aujourd'hui qu'une telle chose est impossible, sans avoir soumis la question à analyse. Nous pouvons le voir dans l'histoire de la géométrie. A son époque, Lobatchevski admettait la possibilité qu'une nouvelle géométrie, découverte par lui, puisse définir la structure spatiale de la réalité scientifique en lieu et place de la géométrie euclidienne. Il tenta de tester expérimentalement son hypothèse en mesurant les triangles formés par les étoiles. Aujourd'hui, Eddington essaye de mettre en lumière le véritable espace à quatre dimensions – l'un des espaces riemanniens – correspondant à la conception d'Einstein du Cosmos. Néanmoins, tout ceci se résume à une conception très simple, très abstraite, du Cosmos ; elle peut satisfaire le géomètre et le physicien théorique mais elle contredit la connaissance empirique du naturaliste. Il existe une autre conception possible logiquement – celle d'une *inhomogénéité géométrique de la réalité*, conception

plus proche de la connaissance empirique, sans contredire ce que nous savons scientifiquement : admettre que *dans des processus soumis à un examen scientifique, le Cosmos peut manifester des géométries différentes, dans différents cas.*

L'hypothèse d'une seule géométrie unifiée pour l'ensemble du Cosmos, pour l'entièreté de la réalité, est inséparablement liée à l'hypothèse selon laquelle les origines des théorèmes géométriques sont liées à des propriétés spéciales de notre compréhension. Toute l'histoire de la géométrie réfute cette hypothèse.

20. Cela m'amène aux considérations suivantes. Nous savons aujourd'hui qu'il existe toute une gamme de géométries que l'on peut répartir en trois classes – celles d'Euclide, de Lobatchevski et de Riemann – et que chacune d'entre elles est irréprochable et également vraie. Le travail de généralisation se poursuit avec succès pour réduire toutes ces géométries en *une seule géométrie généralisée.*

L'histoire des sciences nous démontre clairement que la géométrie et ses lois, du point de vue de leur base fondamentale, sont déduites de façon empirique, comme toutes les autres généralisations sur les relations entre matière et énergie. Les fondations à partir desquelles ces lois sont dérivées de façon déductive sont établies par les observations et expériences scientifiques précises du chercheur. On peut difficilement commencer aujourd'hui en prenant comme autorité scientifique des conceptions philosophiques et non scientifiques sur la genèse de la géométrie, voyant en elles une manifestation logique de la compréhension humaine. Je préfère toujours, lorsque cela est scientifiquement permis, ne pas m'éloigner des bases scientifiques empiriques.

Partant de là, on peut, si nécessaire, admettre la possibilité que la réalité est géométriquement non homogène ; et que différentes géométries pourraient naître dans différents processus ; et que nous devons en tenir compte dans notre travail scientifique. *Dans la biosphère, nous sommes précisément confrontés à ce type d'hétérogénéité géométrique.*

21. Pour nous, l'espace est inséparable du temps. Cette concep-

tion ne résulte pas des hypothèses théoriques d'Einstein mais avait été établie beaucoup plus tôt de façon indépendante. J'ai essayé de le montrer dans d'autres publications.

Nous vivons aujourd'hui une époque extrêmement importante de l'histoire des sciences. Pour la première fois, l'objet de nos investigations est le *temps*, entité qui est restée pendant des siècles en dehors de la sphère scientifique. Cette situation caractérise la science de notre époque et la différence de la science du XIX^e siècle. Il est désormais clair que le temps est une manifestation extrêmement complexe de la réalité et que le contenu de ce concept est très riche. Parlant d'espace-temps, nous ne faisons référence qu'au fait qu'ils sont inséparables l'un de l'autre. Pour la science, il n'y a pas d'espace sans énergie et matière ; exactement dans le même sens, il n'y a pas de temps. La conception de Minkowski et de ses prédécesseurs, suivant laquelle le temps est la quatrième dimension de l'espace, est une abstraction mathématique n'ayant pas de support dans la réalité scientifique. Il s'agit d'une fiction ne correspondant pas au contenu réel de la science, ni à la véritable conception scientifique du temps. Le temps n'est pas une dimension de la géométrie métrique. Naturellement, le temps peut être représenté géométriquement sous la forme d'un vecteur mais cette représentation ne saurait sous-tendre toutes les propriétés du temps dans les processus naturels étudiés par le naturaliste ; et elle ne fournit rien de réel dans le sens de la connaissance. Elle ne lui est pas nécessaire.

La science du XX^e siècle est maintenant à un point où *le moment est venu d'étudier le temps de la même façon que l'énergie et la matière qui remplissent l'espace*. Le temps de Minkowski, considéré comme la quatrième dimension d'un espace euclidien, ne correspond pas au temps effectivement observé dans l'espace physique. Nous ne devrions pas oublier que, dans un travail scientifique concret, nous ne traitons pas, en général, de l'espace géométrique abstrait et absolu. A tout instant, nous traitons de *l'espace réel de la Nature*, beaucoup plus compliqué.

Dans le vide, et bien souvent dans un milieu gazeux, nous pouvons utiliser très souvent, sans avoir besoin

de faire des corrections, les conclusions tirées des propriétés de l'espace abstrait de la géométrie euclidienne. Mais pas toujours. Dans la plupart des problèmes auxquels nous sommes confrontés, impliquant des corps solides et des fluides, on ne peut procéder ainsi. Il est donc opportun, comme nous le verrons, de distinguer l'espace réel de la Nature – dans ce cas, la biosphère – en tant qu'espace physique, de l'espace géométrique ; de la façon dont opérait Helmholtz, apparemment le premier à le faire ainsi.

Dans ce sens, le temps du naturaliste n'est pas le temps géométrique de Minkowski, n'est pas le temps de la physique mécanique et théorique, ni celui de Galilée et de Newton.

Au § 15, j'ai indiqué la distinction empirique très nette entre le temps des corps vivants et celui des corps naturels inertes de la biosphère. Dans les processus vivants, le temps se manifeste par des *successions de générations*, phénomène complètement absent chez les corps inertes.

La succession de générations est la manifestation spécifiquement biologique du temps, qui distingue nettement un type de matière vivante d'un autre, avec à chaque fois une échelle de comparaison différente. Il est aussi possible de trouver une échelle commune pour toutes ces échelles particulières.

22. A partir de tout ce qui a été dit plus haut, il est avantageux d'organiser le travail scientifique en faisant l'hypothèse de travail scientifique que l'espace, au sein d'un organisme vivant, est un espace différent de celui qui se trouve chez les corps inertes de la biosphère, que cet espace ne correspond pas à un état spécial du corps dans le domaine de la géométrie euclidienne et que le temps y est exprimé sous forme de vecteur polaire. L'existence des orientations droite et gauche et la non-équivalence physico-chimique de ces deux orientations nous orientent vers une géométrie différente de la géométrie euclidienne – une géométrie de l'espace de la matière vivante.

Mes discussions avec les géomètres m'ont fait clairement comprendre que la géométrie correspondant à ces conditions requises n'a pas encore été élaborée. Selon les indications de l'académicien

N.N. Louzine et du professeur S.P. Finikoff, il est possible qu'il s'agisse d'une des géométries riemanniennes ; peut-être l'une de celles évoquées, mais non élaborées, par Cartan. [...]

Il serait souhaitable que ces questions attirent l'attention des géomètres. Le travail d'investigation des naturalistes emploie en fait toujours les constructions mathématiques des géomètres. Il ne peut autrement se développer correctement. D'autre part, la pensée mathématique croît et découvre de nouveaux domaines, lorsque la pensée scientifique ou la vie environnante nous confronte à de nouveaux problèmes. *Le caractère géométrique de l'espace, occupé par la matière vivante*, est un de ces nouveaux problèmes. Les vecteurs polaires sont caractéristiques de cet espace (absence de centre de symétrie et de symétrie complexe), tout comme la non-équivalence des énantiomères droite et gauche (leur manque de combinaison, ou leur combinaison incomplète) ; la différence chimique marquée entre processus et composés de chiralité droite ou gauche. Ce qui ressort de façon caractéristique chez les organismes vivants, c'est l'absence de lignes droites et de surfaces planes ; la symétrie des organismes vivants repose sur des lignes et des surfaces courbes, caractéristiques des géométries riemanniennes. La nature finie et close de l'espace, qui se distingue nettement de son environnement et qui prévaut sur lui, est un autre signe propre aux géométries riemanniennes. C'est tout à fait cohérent avec le caractère distant des organismes vivants, leur autarcie.

Quelle est la géométrie riemannienne appropriée ici ? Quelles en sont les caractéristiques ? Il me semble que la réponse à ces questions est un défi qui ne peut être ignoré par nos géomètres. Elle mérite leur attention car c'est en soi un problème géométrique.

D'autant plus qu'il est relié à un problème physique plus général : la question des états géométriques de l'espace physique, qui reste encore très peu abordée par la pensée philosophique et physique.

[...] Je remercie N.N. Louzine et S.P. Finikoff, qui m'ont aidé de leurs suggestions instructives au cours des discussions que nous avons eues. ■

Moscou, juin 1938.