

Vladimir Vernadsky

**La composition chimique
de la matière vivante
et la chimie de l'écorce
terrestre**

Vernadsky.fr

Vive le matérialisme dialectique !

*Conférence faite à l'Université tchèque de Charles à Prague le 22 juin 1922.
Discours prononcé le 12 mars 1922 à Petrograd à la Société des Naturalistes de cette ville.*

Je me propose de traiter ici plusieurs problèmes relatifs à une nouvelle science définitivement constituée au XXe siècle, la Géochimie.

La Géochimie a pour but l'histoire des éléments chimiques de l'écorce terrestre, en quoi elle se distingue de la Minéralogie, qui étudie leurs molécules, les minéraux.

Cette étude géochimique a établi le rôle important que joue le monde organique vivant, la matière vivante, comme je l'appellerai, dans la chimie de l'écorce terrestre. Nous ne pouvons même nous faire aucune idée de l'histoire des éléments chimiques de l'écorce terrestre sans tenir compte de l'existence d'organismes vivants à la surface du Globe. Il y a longtemps, plus de cent ans, que ce fait a été établi pour des éléments tels que O, C, N, P, etc. Mais il en est incontestablement de même en ce qui concerne les corps simples comme Si, Fe, Mn, Cu ou Al, qui paraissent n'avoir presque rien de commun avec les organismes. Nous allons voir que ce fait est établi indiscutablement pour 28 systèmes d'atomes chimiques, parmi les 87 corps simples connus jusqu'ici, et différant entre eux par leurs nombres atomiques. Mais cette liste de 28 éléments est incomplète. On peut dire que la moitié presque des éléments chimiques ont des rapports étroits avec la matière vivante dans le domaine de l'histoire de l'écorce terrestre. Nous pouvons l'affirmer à l'heure présente avec une certitude absolue pour 28 éléments et avec une grande part de certitude pour 16 autres d'entre eux.

Ces éléments constituent un groupe spécial de corps chimiques simples, dont toute l'histoire dans l'écorce terrestre s'exprime par cycles, ramenant continuellement l'élément à son état initial dans l'enveloppe terrestre.

Ainsi nous savons que l'oxygène libre, après avoir passé par une série de composés dans l'écorce terrestre, finit toujours par se dégager de nouveau pour retourner à l'état libre; le phosphore après s'être dégagé sous la forme d'une apatite ($3Ca^3P^2O^8 \cdot CaF^2$ etc.), entre successivement dans la composition de minéraux vadoses (formés dans la biosphère) et d'organismes, et finit par s'amasser de nouveau dans les apatites.

De telles transformations sont caractéristiques en ce qui concerne les éléments suivants (*éléments cycliques*)

28 certains (2)

Ag	C	*F	*N	Pb	Ti
*Al	*Ca	*H	*Na	*S	V
*As	*Cl	*K	*Ni	*Si	Zn
*B	*Cu	*Mg	*O	Sn	
Ba	*Fe	*Mn	*P	*Sr	

10 probables (3) :

*Bi Cd *Co Cr Hg Mo Sb Se Te W*

Le poids de ces éléments par rapport à celui de l'écorce terrestre représente ma presque totalité de sa masse (env. 96,6 %), et leur nombre correspond à 45,98 % du nombre des éléments chimiques.

* * *

Avant d'aller plus loin, arrêtons-nous aux conséquences biologiques découlant de cette importance exceptionnelle des organismes au point de vue géochimique. Nous sommes obligés, en Géochimie, d'étudier des organismes vivants, des phénomènes vitaux. Mais ces organismes ne se manifestent pas sous les formes que se représentent les biologistes.

Le géochimiste est obligé d'employer, à l'égard des organismes, les méthodes d'investigation adoptées dans l'étude du règne minéral. Ce qui l'intéresse dans l'organisme, c'est sa composition chimique, son poids et son énergie. La structure morphologique, les phénomènes qui s'accomplissent dans l'organisme, passent au second plan, bien qu'ils ne soient pas négligeables, comme nous le verrons plus tard.

Les organismes ne se manifestent pas individuellement, mais dans leur action en masse. L'individu disparaît, si l'on considère l'immensité de l'échelle des phénomènes terrestres. Seul l'ensemble de ces individus offre de l'importance. Les organismes vivants se présentent en Géochimie presque exclusivement comme des faits susceptibles d'être assujettis à des lois statistiques. Il s'ensuit qu'il nous sera commode et nécessaire d'introduire une nouvelle conception de la nature vivante.

J'appellerai *matière vivante* l'ensemble des organismes, réduits leur poids, à leur composition chimique et à leur énergie, et *matière vivante homogène*, l'ensemble des organismes vivants appartenant à la même espèce ou au même genre.

En Géochimie comme en Minéralogie, nous envisageons les organismes, la vie, exclusivement sous l'aspect de matière vivante.

Je ne parlerai pas ici des déductions qui découlent de l'étude de la matière vivante considérée de ce point de vue (4). Mais, pour éviter tout malentendu, je noterai ici qu'en Géochimie la matière vivante ne peut être complètement réduite à sa composition chimique, son poids et son énergie. Une force géologique et géochimique nouvelle s'est manifestée avec une grande intensité, au cours des derniers milliers d'années, dans tous les processus chimiques terrestres et surtout en Géochimie, dans l'histoire de tous les éléments chimiques cycliques mentionnés plus haut et même dans celle de tous les autres. C'est le travail de l'humanité civilisée, qui apporte quelque chose de nouveau, d'inconnu jusqu'ici dans le développement des genèses terrestres. Ce travail est étroitement lié à la *conscience*, que nul naturaliste, strict dans ses déductions, ne saurait réduire (si ce n'est au point de vue philosophique) aux paramètres de la nature vivante plus haut mentionnés, c'est-à-dire à la composition, au poids et à l'énergie. En même temps l'humanité - et surtout l'humanité civilisée - n'est autre chose qu'une matière vivante homogène, se distinguant de toute autre matière vivante homogène par un nouvel et puissant aspect, parmi les aspects ordinaires sous lesquels elle se manifeste dans le domaine de la Géochimie.

Je ne m'arrêterai que sur une manifestation de la matière vivante, - *sur sa composition*. Quelle est la composition de la matière vivante? La connaissons-nous et pouvons-nous parler d'elle, comme nous parlons par exemple de la composition des minéraux et des roches ?

Je n'ai en vue en ce moment que la composition chimique élémentaire. Nous devons admettre que nos opinions subissent à ce sujet une crise profonde. Récemment encore nous attachions plus d'importance, en ce qui concerne la composition des organismes, aux composés formant leurs tissus qu'aux éléments chimiques. Une grande quantité de ces éléments entrent dans la composition de l'organisme à doses minimales, et ces fractions insignifiantes de dix et de cent millièmes semblaient pouvoir être négligées et considérées comme n'ayant aucune influence sérieuse sur la vie de l'organisme.

Mais notre esprit commence à subir l'empire d'autres impressions et d'autres idées.

Chaque élément chimique nous offre maintenant un atome d'une structure spéciale, et ses propriétés, qui se manifestent dans les composés chimiques, sont liées uniquement aux propriétés superficielles de l'atome. Mais nous pénétrons actuellement beaucoup plus profond dans la structure de l'atome, que ne l'avait jamais fait la chimie habituelle des composés, la chimie moléculaire. La présence ou l'absence, la grande ou la petite quantité d'atomes de différentes structures dans un corps naturel, y compris l'organisme, ne peut pas ne pas être d'une grande importance - si seulement ce phénomène se répète et n'est pas l'effet du hasard. C'est précisément par la grande différence de structure des atomes de chaque élément chimique, que la science a des moyens précis d'étudier, que notre conception atomistique actuelle se distingue si profondément des schémas du Monde d'autrefois - schémas philosophiques, religieux ou scientifiques.

Mais nous avons non seulement changé notre conception de l'élément chimique, nous avons compris l'immense importance de quantités minimes à notre point de vue dans l'économie du Cosmos. On a créé une série de sciences - comme la radiochimie - qui s'occupent de quantités minimes, et étudient les immenses effets qu'elles provoquent. Nous avons appris à nous affranchir de la représentation anthropocentrique, ne correspondant pas à la réalité, du grand et du petit dans l'Univers.

Nous passons graduellement des anciennes conceptions à la nouvelle synthèse scientifique de l'Univers, mais nous ne sommes pas encore parvenus au terme.

Notre connaissance des faits se rattachant à la composition chimique des organismes est liée à l'ancienne conception et ne répond pas à la nouvelle. Elle commence, il est vrai, à se transformer et dans peu d'années nous aurons franchi cette étape. Mais à l'heure présente, quand le géochimiste, qui s'occupe de l'histoire des éléments chimiques, passe du domaine des minéraux et des roches à celui de la matière vivante, il y trouve des matériaux de toute autre nature. La connaissance de la composition chimique des organismes se trouve au niveau de celle qui a existé en minéralogie il y a soixante-dix ou quatre-vingts ans, en pétrographie il y a trente ou quarante ans. Son travail est fort entravé par le manque d'ampleur, de précision et par le caractère accidentel des données scientifiques. Il ne faudra pas le perdre de vue dans l'exposé qui suit.

* * *

La première question à résoudre est la suivante quels sont les éléments qui se retrouvent invariablement dans la matière vivante, c'est-à-dire qui peuvent être constatés dans tout organisme après une étude rigoureuse ?

Cette question a été soulevée par la science depuis bientôt cent ans et a été résolue de deux manières d'un côté par l'analyse, la recherche des éléments se trouvant dans l'organisme vivant; d'un autre côté par l'expérimentation en tâchant de faire vivre tel ou tel organisme dans un milieu manquant complètement d'éléments chimiques déterminés. Je ne m'arrêterai pas sur la longue histoire de ces recherches, et sur les hypothèses variées auxquelles elles ont donné lieu. Je n'indiquerai que le résultat définitif. Il est certain que la quantité d'éléments chimiques, invariablement constatés dans les organismes, s'accroît progressivement; dans les derniers aperçus généraux, par exemple ceux de Czapek, Abderhalden, Osborne (1917-1919), elle s'élève à une vingtaine, et même davantage. Mais il est certain que ces aperçus n'embrassent pas tous les matériaux fournis par l'expérimentation et toutes les observations. En réalité le nombre de ces éléments est plus considérable. Il semble que chaque matière vivante contient d'une manière ou d'une autre - toujours et non accidentellement- une très grande quantité de types d'atomes.

Nous sommes obligés d'admettre, en nous fondant sur la vérification et la critique des données empiriques et des indications publiées, qu'on a constaté la présence d'au moins 32 éléments chimiques dans tous les organismes. Ce sont, outre les 24 éléments cycliques désignés plus haut par un astérisque et qui se trouvent indubitablement dans tout organisme, encore les suivants Ce, S, Li, I, Br, Ra, Nt, Ag, soit en tout au moins 32. Mais nous devons considérer que des éléments tels que I, Br, Li, font partie d'un groupe naturel de 10 éléments chimiques pénétrant toute la matière terrestre et constatés dans tout corps naturel, quand on les y cherche (5). Ce sont les *éléments de dispersion*. Il est probable qu'ils seront tous (i. e. Br, Cs, Ga, In, I, Li, Rb, Se, Tl et Y) constatés dans tous les organismes. En même temps Ce appartient au groupe des 15 (sur les 16 existants) *éléments de terres rares* connus, qui se trouvent habituellement réunis dans les minéraux et les roches. Il n'a pas été constaté un seul minéral de Ce à l'état complètement pur. De même la présence de Ra nous donne lieu de supposer l'existence de produits élémentaires provenant de sa désagrégation et peut-être de ses éléments chimiques initiaux.

Il est certain, en fin de compte, qu'un très grand nombre (beaucoup plus de la moitié) des éléments chimiques doit se trouver constamment et non accidentellement dans la matière vivante.

Nous savons que les organismes ne tirent pas accidentellement les éléments qu'ils contiennent du milieu environnant. Il existe une quantité d'adaptations dans leur structure et dans leur vie, la nutrition et la respiration, dont dépend l'absorption d'éléments chimiques déterminés en quantité nécessaire à leur vie. Ces processus sont étudiés jusqu'ici exclusivement au point de vue de leur importance pour l'organisme pris individuellement et en vue de comprendre

leur physiologie.

L'effet général de l'influence chimique de la matière vivante sur le milieu environnant - sur toute la nature - n'a pas été assez remarqué.

Dans les travaux des savants des dernières générations nous ne trouvons aucune généralisation relative à cet effet de la nature organique. Nous ne relevons des indices de ces recherches que chez les anciens naturalistes du XVIII^e siècle, dans les écrits du célèbre membre de l'Académie de Pétersbourg, C. Wolffet, au commencement du XIX^e, dans les œuvres du très éminent penseur polonais, le docteur A. Sniadecki. Ces savants ont tenté de voir dans cette extraction d'éléments chimiques déterminés du milieu environnant, par la respiration et la nutrition des organismes, la manifestation de forces spécifiques propres à tout ce qui vit, pour ainsi dire cosmiques, analogues à la gravitation universelle et à l'affinité chimique.

Il est certain que ces manifestations de la vie produisent un trouble profond dans les réactions chimiques de l'écorce terrestre. C'est en grande partie grâce à elles que l'histoire géochimique des éléments chimiques est toute autre qu'elle ne l'eût été si la chimie de la surface dépendait seulement de la composition et du champ thermodynamique de cette surface. Nous savons qu'une immense quantité d'éléments chimiques de la biosphère se trouve accaparée, en vertu de ces phénomènes, par la matière vivante et soumise à d'autres processus chimiques que ceux qu'ils auraient subis s'il n'y avait pas eu de vie sur la Terre. Il arrive souvent que la matière vivante attire toute la masse de certains éléments chimiques de la biosphère, comme par exemple I ou P. Pour comprendre l'importance de ce phénomène, il est nécessaire de l'étudier au point de vue quantitatif et non qualitatif.

Nous devons connaître, en premier lieu, la composition chimique élémentaire moyenne de tous les organismes de la matière vivante, et en second lieu l'exprimer en nombres et connaître son poids. Nous devons établir un lien entre cette composition et ce poids et la composition et le poids du milieu, qui est l'écorce terrestre dans lequel se trouve la matière vivante. A vrai dire, le plus important serait d'établir un rapport entre la matière vivante et la partie superficielle de l'écorce terrestre, la biosphère, pénétrée de vie.

Mais cela nous est impossible pour l'instant, non que ce soit un problème insoluble, mais parce que nous n'avons pas recueilli toutes les données nécessaires à sa solution. Et les données qui sont à notre disposition sont extrêmement insuffisantes, même pour la solution de problèmes moins compliqués.

En fait, le poids de la matière vivante et celui des organismes en général - et leur composition chimique quantitative - ont été très peu étudiés. On ne doit voir dans les faits que j'expose ici que les éléments d'une tentative pour nous rapprocher de la future compréhension de la Nature. Mais nous devons chercher à acquérir ces connaissances préliminaires et nous servir de cette méthode, car ce n'est qu'en s'efforçant d'établir un fait nouveau qu'il est possible d'attirer l'attention sur lui, de provoquer la critique et des rectifications, et d'acquérir les connaissances nécessaires au moyen d'un travail collectif. Nous devons constater, en ce qui concerne le poids de la matière vivante homogène, un manque presque absolu de nombres moyens précis qui, on le sait, ne peuvent être obtenus qu'après avoir pesé des centaines d'organismes de la même espèce.

On étudie habituellement l'organisme mort en n'attachant pas d'importance, pour la compréhension de sa composition chimique, à l'eau qui le pénètre; on l'exclut des calculs et l'on prive ainsi les données obtenues de leur précision scientifique. Car l'objet réel de la Géochimie n'est autre chose que l'organisme vivant et sain avec toute l'eau qui le pénètre en entier durant sa vie. Seul un organisme ainsi conçu présente de l'importance pour la Géochimie et entre dans la composition de la matière vivante.

Pour nous rendre compte du niveau de nos connaissances, il est bon de savoir que nous n'avons pour aucun organisme des données directes sur la quantité d'eau qu'il contient; nous n'avons que des indications sur les quantités d'eau perdue par suite de la dessiccation. Cependant cette dessiccation, non seulement des animaux mais des plantes, même jusqu'à 100° C. (sans parler des déterminations qui se font à 105-120° C.), donne des chiffres complètement faux, car d'un côté l'organisme perd par ce moyen non seulement H et O, mais d'autres éléments, et d'un autre côté les substances de l'organisme - ses tissus - absorbent l'oxygène, s'oxydent, ce qui amène une transformation dans leur composition élémentaire. Les expériences récentes du professeur N. Zélinisky ont prouvé que la différence de la détermination de N dans les abeilles vivantes et les abeilles desséchées jusqu'à 65° s'élève à plus d'un pour cent.

Si l'on ne peut pas, pour le moment, opérer sur des nombres précis, on connaît leur ordre, correspondant à la quantité de matière vivante qui se trouve à un moment donné dans l'écorce terrestre. Je me contenterai de citer ici le résultat de mes recherches qui n'offrent provisoirement qu'un caractère tout préliminaire.

* * *

En considérant la partie de l'écorce terrestre que nous sommes à même d'étudier directement au point de vue chimique et qui ne dépasse pas la profondeur de 16 km., il est possible de calculer que la quantité maximale de matière vivante dans l'écorce terrestre est de l'ordre $m \times 10^{-1}$ % (6). Cette petite fraction correspond en réalité à une quantité énorme de matière à des millions de tonnes - qui se trouve dans un état de perpétuel et continu mouvement, lequel répartit petit à petit sous une forme nouvelle dans le milieu ambiant l'énergie tirée du rayonnement solaire. Cette matière vivante, selon la belle définition de l'organisme vivant de G. Cuvier, présente une quantité de tourbillons, qui tirent constamment les éléments chimiques du milieu ambiant et les lui restituent.

Il est évident qu'en tenant compte seulement de la surface extérieure et non plus de l'ensemble de l'écorce terrestre, nous obtiendrions une plus grande proportion de la matière vivante. La quantité de matière vivante contenue dans la biosphère représente une grande partie de son poids.

Le problème de la composition, chimique moyenne de la matière vivante est encore plus complexe. Pour obtenir des données à ce sujet, il nous est nécessaire d'avoir des connaissances qui nous manquent encore, mais que nous devons espérer acquérir. Car si nous connaissions la composition moyenne de la matière vivante et son pourcentage, nous aurions pu la comparer avec la composition moyenne de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la biosphère, de la lithosphère et enfin de toute l'écorce terrestre nous aurions pu vérifier, au point de vue des quantités des éléments et de l'énergie, tout le travail chimique de la vie de notre planète dans son aspect cosmique. C'est un problème qui justifierait l'immense travail qu'exige l'acquisition de telles connaissances.

Malheureusement nous ne pouvons donner ici qu'une idée de l'ordre des nombres qui s'y rapportent. Le défaut principal consiste dans l'absence d'une analyse élémentaire chimique quantitative complète de la matière vivante. Nous ne disposons à l'heure présente, pour aucun organisme, de données comparables par exemple aux résultats d'analyses des minéraux ou des nouvelles analyses des roches. Nous n'en avons même pas pour un organisme tel que l'homme, qui depuis de longs siècles a été l'objet d'études scientifiques ininterrompues. Des milliers de savants ont créé dans ce but de vastes disciplines scientifiques, indépendantes les unes des autres. Et dans la Démographie et l'Anthropologie nous possédons des données comparativement précises sur le poids moyen de la matière, qui compose la matière vivante individuelle de l'homme.

Cependant nous avons des données numériques sur la composition moyenne de l'homme. Je les citerai ici, me fondant sur les données de l'éminent anatomiste et physiologiste A. Volkmann, que je complète et modifie par de nouveaux faits, plus récents. Les éléments dont les estimations présentent à mon avis le plus de doutes sont marqués d'astérisques dans ce tableau l'erreur pour eux peut s'élever à 1 % et même davantage.

Composition de l'homme (7)

I	*O	65,04 %	V	*Zn	$n \times 10^{-3}$ %
	*C	18,25		Si	$n \times 10^{-3}$
	*H	10,05		*Al	$n \times 10^{-4}$
II	*N	2,25		Br	$n \times 10^{-4}$
	Ca	1,4		Cu	$n \times 10^{-4}$
III	*P	8×10^{-1}		*F	$n \times 10^{-4}$
	K	$2,7 \times 10^{-1}$		*I	$n \times 10^{-4}$
	Na	$2,6 \times 10^{-1}$		Mn	$n \times 10^{-4}$

	*Cl	$2,5 \times 10^{-1}$	VI - VII	As	$n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$
	*S	$2,1 \times 10^{-1}$		B	$n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$
IV	Mg	4×10^{-2}		Pb	$n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$
	Fe	2×10^{-2}		Ti	$n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$

D'autres éléments se rencontrent en moindre quantité et ne nous donnent pas le droit de faire des calculs même aussi approximatifs. Nous voyons que les données concernant les éléments principaux qui entrent en grande quantité dans la composition de l'homme, sont les plus sujettes à caution.

Si tel est le niveau de nos connaissances sur l'organisme le mieux étudié de la matière vivante, il est évident que nous ne pouvons avoir que des données approximatives sur l'ensemble de la matière vivante peuplant notre planète. Mais je ferai ces calculs quand même, car l'histoire de la science nous enseigne que nous finissons toujours par obtenir des nombres précis à la suite de conjectures antérieures.

La méthode employée est celle dont nous nous sommes servi pour l'étude de la chimie des enveloppes terrestres. Après avoir commencé par les calculs très approximatifs de Phillips et De la Beche, au début du XIXe siècle, nous avons fini, à la suite d'un travail séculaire, par obtenir des données bien plus précises dont nous pouvons nous servir avec sécurité pour quantité de déductions importantes.

Je comparerai la composition de la matière telle que nous la connaissons maintenant avec la composition de l'écorce terrestre, de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la lithosphère; je ne donnerai cependant pas de quantités numériques, quoique j'eusse pu le faire dans beaucoup de cas, mais seulement leur ordre en décades, d'après lequel chacune des séries est de dix fois plus élevée que la précédente. Les éléments sont disposés dans les séries à peu près proportionnellement à leur abondance relative. Les éléments qui se trouvent dans toute matière vivante sont en italiques et ceux dont la présence n'est prouvée que pour certains organismes sont en caractères gras.

Nous disposons des données suivantes :

I - L'écorce terrestre

		Pour cent	
I	Décade : plus de	10	<i>O. Si.</i>
II		$10^1 - 10^0$	<i>Al. Fe. Ca. Mg. Na. K. H.</i>
III	-	$10^0 - 10^{-1}$	<i>Ti. C. Cl. S. P. Mn.</i>
IV	-	$10^{-1} - 10^{-2}$	<i>Na. Ba. B. V. Li. Ni. Sr. F. Cr. Zr. Cu. Br. Ce.</i>
V	-	$10^{-2} - 10^{-3}$	<i>Be. Y. Sn. Co. Th. U. Zn. Pb. I. Mo. Rb.</i>
VI	-	$10^{-3} - 10^{-4}$	<i>Ar. W. Ta. Cs. Bi. Cd. Hg.</i>
VII	-	$10^{-4} - 10^{-5}$	<i>La. As. Nd. Nb. Sb. Ag. Se. Sc.</i>
VIII	-	$10^{-5} - 10^{-6}$	Tl. <i>Te. Pr. Au. Pt.</i>
IX	-	$10^{-6} - 10^{-7}$	Ga. <i>In. He. Pd. Er. Sa.</i>
X	-	Moins de 10^{-7}	<i>Gd. Ge. Yb. Ir. Kr. Xe. Ne. Os. Th. Ru. Tb. Tu. Eu. Ra. Dy. Ho. Po. Pa. Ac. Nt. Ct. Ln.</i>

II – L'Hydrosphère

		Pour cent	
--	--	-----------	--

I	Décade	$> 10^1$	<i>O. H.</i>
II	-	10^0	<i>Cl. Na.</i>
III	-	10^{-1}	<i>Mg.</i>
IV	-	10^{-2}	<i>S. Ca. K.</i>
V	-	10^{-3}	<i>C. Br. N. Rb.</i>
VI	-	10^{-4}	<i>Si. P. Fe. Ag.</i>
VII	-	10^{-5}	<i>F. I. B.</i>
VIII	-	10^{-6}	<i>Li. Cu. Au. As.</i>
IX	-	$< 10^{-7}$	<i>Zn. Ra.</i>

III - L'atmosphère (*douteux)

		Pour cent	
I	Décade	$> 10^1$	<i>N. O.</i>
II	-	10^0	<i>Ar.</i>
III	-	10^{-1}	<i>H.</i>
IV	-	10^{-2}	<i>C.</i>
V	-	10^{-3}	<i>*Cl. *Na. *S.</i>
VI	-	10^{-4}	<i>*Mg. *Ca. Ne.</i>
VII	-	10^{-5}	<i>*P. Kr.</i>
VIII	-	10^{-6}	He.
IX	-	10^{-7}	Xe.
X	-	10^{-8}	<i>*Nt.</i>

IV – La matière vivante (*douteux)

		Pour cent	
I	Décade	$> 10^1$	O. H.
II	-	10^0	C. N. Ca.
III	-	10^{-1}	S. P. *Si. K.
IV	-	10^{-2}	*Mg. *Fe. Na. Cl. *Al. Zn.
V	-	10^{-3}	*Cu. Br. *I. Mn.
VI	-	10^{-4}	*As. B. Fl. Pb. Ti. *V.
VII	-	10^{-5}	*Ag.
VIII	-	10^{-6}	*Au.

Il suffit de jeter un regard sur ce tableau pour comprendre que la composition de la matière vivante se distingue complètement de celle des enveloppes terrestres dont elle tire ses éléments.

Mais ce tableau ne donne pas une idée complète du rôle immense que joue la matière vivante en ce qui concerne la distribution des éléments chimiques, car cette distribution dans les enveloppes superficielles, en particulier dans l'atmosphère et l'hydrosphère, dépend en grande partie de la matière vivante. Ainsi, *tout l'oxygène libre* de l'atmosphère, soit la presque totalité de son oxygène, est exclusivement fourni par la matière vivante, car nous ne connaissons pas d'autre mode de dégagement pour l'oxygène libre dans l'écorce terrestre que celui qui a lieu dans les organismes vivants contenant de la chlorophylle durant la synthèse de leur matière organique. Et en même temps nous connaissons des milliers de réactions chimiques dans l'écorce terrestre qui l'absorbent. S'il n'existait pas d'organismes à chlorophylle, tout l'oxygène libre de l'atmosphère aurait depuis longtemps disparu.

Ce tableau ne sert cependant qu'à donner un aperçu général. Une analyse plus détaillée de la composition de la matière vivante nous révèle dans les organismes des adaptations spéciales, ayant pour but des fonctions définies dans l'écorce terrestre, l'accaparement d'éléments chimiques déterminés.

* * *

La composition chimique des organismes n'est pas sujette à de moins grandes oscillations que celle des minéraux. Nous ne nous en rendons habituellement pas compte, car la Biologie est jusqu'à présent pénétrée d'anciennes réminiscences naturo-philosophiques concernant l'unique substratum de la vie, le protoplasme, commun aux animaux et aux plantes. Pendant longtemps les biologistes n'avaient pas fait attention à la différence des diverses espèces d'animaux et de plantes sous le rapport de leur composition chimique. L'idée fondamentale des sciences physico-chimiques, l'idée que la forme des corps, leur morphologie se trouve étroitement liée à leur composition chimique, dépend d'elle et ne peut être expliquée et déduite que par elle ne commence à s'emparer du biologiste qu'aujourd'hui, sous nos yeux. Ce n'est que maintenant que nous commençons à comprendre que les corps de la nature morte, comme ceux de la nature vivante, - différents sous le rapport de leur morphologie, de leur structure extérieure, - le sont aussi sous le rapport de leur composition chimique - de leur structure invisible à l'œil nu.

Il est évident que nous apprendrons un jour à connaître la composition élémentaire chimique de la matière vivante qui a un rapport si étroit avec toutes les fonctions de l'organisme. Nous pouvons nous convaincre que l'ordre de distribution des éléments chimiques dans les différents groupes de la matière vivante présente de grands écarts en comparaison de la composition moyenne que j'ai tâché de fixer dans ce tableau. Malheureusement nos connaissances sont encore insuffisantes pour donner une idée nette de la composition de la matière vivante dans ses rapports avec les classifications en races, espèces, genres, familles, etc., créés par les morphologistes. Il paraît que ces groupes morphologiques ne se maintiennent pas toujours dans la classification chimique des matières vivantes homogènes, étudiées au point de vue chimique, quoique bien souvent les particularités de la composition chimique coïncident avec ces données de l'analyse morphologique, biologique.

J'ai essayé dans le tableau ci-dessous de résumer les faits, tels que je suis arrivé à les connaître, pour les éléments qui s'y prêtent. Ce tableau est certainement bien incomplet, mais il reflète l'état de nos connaissances. Son importance, comme celle de tout sommaire, est d'attirer l'attention pour réunir de nouveaux faits et de provoquer la critique.

J'y ai introduit des termes nouveaux dont il sera commode de faire usage à l'avenir. Les organismes dans lesquels la proportion de certains éléments surpasse la moyenne brute de la matière vivante, quantité qui en même temps les range dans la première décade, sont appelés d'après cet élément prédominant *organismes siliceux, ferriques*, etc. Les organismes où l'on n'observe pas une si grande prédominance d'un élément, mais où cependant la teneur en cet élément se rapproche de 1 % ou le surpasse - ce qui les place dans la 2^o décade - sont appelés *organismes riches en ce dernier élément*. Je divise ainsi toutes les matières vivantes homogènes en trois groupes : 1^o organismes de l'élément donné; 2^o organismes riches en cet élément; 3^o enfin, organismes habituels. Il paraît ne pas exister de transitions entre ces groupes, comme cela est surtout évident pour les organismes des 1^{er} et 2^e groupes. Il existe, par contre, des organismes beaucoup plus pauvres en élément donné, qu'il est possible de classer dans un quatrième groupe celui des organismes pauvres relativement à l'élément donné.

D'après les données dont nous disposons, la distribution de la matière vivante au point de vue des éléments nous paraît être la suivante (8) :

1. SILICIUM

1. Organismes siliceux : Diatomées, *Silicoflagellatae*, *Dictyocha*, *Helioza*, quelques Gromidées, éponges siliceuses, *Radiolaria*, Bactéries ferriques (?). P.-e. quelques *Oscillariae* (*Phormidium*)

On trouve très peu d'analyses. On a trouvé 19-20 % de Si dans l'organisme vivant de *Chaetoceras*.

2. Organismes riches en silicium : Quelques Graminées (p.-e. *Bromus Schraderi*), quelques Equisétacées (*Equisetum telmateya*, min. 2% Si), quelques Lichens (*Variolaria dealbata* plus de 2 % Si), quelques Ericacées (*Erica tetralix* jusqu'à 1% Si). Plusieurs espèces d'arbres, p.-e. Chrysobalanaceae. Peut-être quelques *Cypéracées*, *Zostera*. Quelques coléoptères. Plusieurs mousses.

Il n'est pas douteux que les travaux ultérieurs enrichiront beaucoup ce groupe.

3. Organismes normaux par rapport au silicium $n \times 10^{-1}$ jusqu'à $n \times 10^{-2}$ % Si. pour les plantes (maximum quelques graminées, par ex. avoine : $6,3 \times 10^{-1}$ Si).

$n \times 10^{-3}$ jusqu'à $n \times 10^{-2}$ Si ? - Grands Vertébrés (p. ex. le mouton : 9×10^{-3} Si %).

2. ALUMINIUM

1. Organismes alumineux ? *Crenothrix ochrace*, selon les analyses de Jackson (plus de 17% Al).

2. Organismes riches en aluminium. Diatomées (?), Lycopodiacées, quelques protéacées ? (*Orite excelsa*)

3. Organismes normaux par rapport à l'aluminium. $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-3}$. Les Algues (p.-e. *Delesseria* 2×10^{-1} % Al).

Les hydrophytes et les plantes aquatiques $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-2}$ %.

3. FER.

1. Organismes ferriques. Quelquefois plus de 20 % de Fe. Les Bactéries ferriques et quelques autres bactéries. Peut-être quelques Infusoires. Quelques Foraminifères jusqu'à 11,1 % Fe. (p. e. *Haplophragmium latidorsatum*). Quelques Desmidiacées, Conferves, Edogoniacées.

2. Organismes riches en fer. Quelques Lichens (*Leccidea silicea*). Plusieurs algues. Quelques plantes supérieures, comme *Tropa natans*.

3. Organismes normaux par rapport au Fe. $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-3}$ % Fe (quelques graines jusqu'à $n \times 10^{-1}$ %). les Mammifères, comme le mouton, la vache jusqu'à $n \times 10^{-1}$ %, la souris $n \times 10^{-2}$ %, les Algues en général $n \times 10^{-2}$.

4. CALCIUM.

1. Organismes calciques. Quelques-uns contiennent jusqu'à 37-38 % Ca et même davantage. Beaucoup d'algues de familles différentes Coccolithophoridae, Chroococcaceae (*Gloeocapsa*, etc.), Characeae, Dasycladaceae, Dictyotales, Corallinaceae, Oscillatoriaceae, Rivulariaceae, Oedogoniaceae, Codiaceae (*Halimeda*, etc.), Lithotamniae, etc.

Mollusques. Foraminifères. Brachiopodes. Quelques Crustacés (p. e. *Cypris*). Quelques Annelides (p. e. *Serpula*). Echinodermes, Bryozoaires, Anthozoaires, etc.
Quelques Bactéries (p. e. *Bacterium calcis*).

2. Organismes riches en calcium. Les Mammifères, et la plupart des Vertébrés. Beaucoup d'Algues (p. ex. *Cladophora*, *Laminaria*, *Fucus*). Les Mollusques sans coquilles. Plusieurs Lichens (p. e. *Chlorangium Jussufi*). Quelques Holothuries.

Quelques plantes supérieures. *Zostera*, *Elodea canadensis*, *Saxifraga* ?

Crustacés en partie. Plusieurs Vers. Quelques Mousses (p. e. *Pellia*).

3. Organismes pauvres en Ca (9). $n \times 10^{-1}$ jusqu'à $n \times 10^{-2}$ %

5. MAGNESIUM (10)

1. Organismes magnésiques. Quelques Foraminifères (*Tricosphaerium*). Quelques Algues (p.ex. *Lithophyllum* des *Lithothamniae*).

2. Organismes riches en magnésium. Quelques Bryozoaires, quelques Annélides (*Serpula*). Quelques Crinoïdes, Alcyonaires. Quelques Anthozoaires. Quelques Echinodermes. Quelques Crustacés ? Plusieurs Foraminifères. Quelques Algues (plusieurs *Lithothamniae*).

6. POTASSIUM

1. Organismes riches en potassium. Jusqu'à 3 % de K. (p. e. *Nereocystis luetkeana*, *Pelagophycus pora*). Quelques Algues gigantesques (*Nereocystis*, *Pelagophycus*). Quelques plantes terrestres (*Setaria germanica*, *Senecio vulgaris*, *Spartium scoparius*, *Senecio Jacobae*, *Lactuca Sativa*, *Achillea Millef.*, etc.)

2. Organismes normaux par rapport au potassium. $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-2}$ de K.

7. SODIUM.

1. Organismes riches en sodium. Pas plus de 1-2 % de Na ?
Quelques Algues marines, p. e. quelques *Fucus*, *Laminaria*. Quelques Bactéries (11).

2. Organismes normaux par rapport au sodium. $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-3}$ %
La plupart entre $n \times 10^{-2}$ et $n \times 10^{-3}$ Na : Chénopodiacées et plusieurs autres plantes riches en Cl $n \times 10^{-1}$ % Na

8. CHLORE.

1. Organismes riches en chlore. Voisins de 1 %. Les Halophytes des bords de la mer (Chénopodiacées, Frankéniacées, Plumbaginacées), *Arenaria media* (Alsinacées), *Plantago maritima*.

2. Organismes normaux par rapport au Cl. $n \times 10^{-2}$ - $n \times 10^{-3}$ % Cl.

9. CARBONE.

1. Ces organismes peuvent être appelés organismes carboniques ou riches en carbone. Ils contiennent plus de 1 % de C. Les plus riches sont les plantes terrestres à chlorophylle. On peut les appeler *organismes carboniques par excellence* - jusqu'à 15 - 20 % C.

2. Organismes pauvres en carbone. Tous les organismes marins et aquatiques riches en eau (jusqu'à 99,7 % H^2O).

10. AZOTE.

1. Il y a des indications sur l'existence d'organismes azotiques, p. ex. Nitrobactérie (Osborne). Les analyses n'en donnent pas de preuves.

2. Organismes riches en azote. En général tous les organismes sont riches en azote (les animaux contiennent jusqu'à 4 - 5 % N).

3. Organismes pauvres en azote. Ainsi que pour le carbone, tous les organismes, marins et aquatiques, riches en eau (jusqu'à 99,7 % H^2O), sont pauvres en azote.

Les plantes terrestres à chlorophylle sont en général plus pauvres en azotée elles contiennent en moyenne $n \times 10^{-1}$ % de N.

11. BARYUM.

1. Organismes à baryum. Les Foraminifères Xenophyophoreae.

2. Organismes normaux par rapport au baryum.

12. BROME.

1. **Organismes riches en Br.** Peut-être la quantité du Br est moindre de 1 % ?

Quelques Eponges. Peut-être quelques Anthozoaires.

2. **Organismes normaux par rapport au Br.**

Maximum $n \times 10^{-1}$ quelques Algues.

13. IODE.

1. **Organismes riches en iode.** Jusqu'à environ 1 % (p. e. un peu davantage).

Quelques Eponges tropicales. Quelques Anthozoaires (p. e. *Gorgonia Cavolini*).

2. **Organismes normaux par rapport à I.**

Les plantes terrestres $n \times 10^{-6}$ - $n \times 10^{-3}$ %

Les animaux $n \times 10^{-3}$ - $n \times 10^{-5}$ %

Les éponges $n \times 10^{-1}$ %

Les algues jusqu'à $n \times 10^{-2}$?

14. MANGANESE.

1. **Organismes manganeux ?** Peut-être quelques ferrobactéries certains *Leptothrix* sont des organismes contenant plus de 10 % de Mn.

2. **Organismes riches en manganèse** (jusqu'à 1% de Mn). Quelques champignons (*Secale cornutum*, *Aspergillus*, etc.), quelques plantes supérieures, comme *Zostera maritima*, *Tropa natans*. Ferrobactéries.

3. **Organismes normaux par rapport à Mn.**

Les plantes $n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-2}$ % Mn.

Les animaux jusqu'à $n \times 10^{-4}$ % Mn.

15. SOUFRE.

1. **Organismes sulfureux.** Quelques Bactéries sulfhydriques qui déposent le soufre.

2. **Organismes normaux par rapport au soufre.**

$n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^{-2}$ % S

16. STRONTIUM.

1. **Organismes strontieux.** Quelques Radiolaires (*Acantharia*, *Prodactillinius*)

2. **Organismes normaux par rapport au Sr.**

17. ZINC.

1. **Organismes riches en Zn.** Microflore aux environs des sources minérales riches en Zn (p. e. *Sterygmatocystis nigra*).

2. **Organismes normaux par rapport au Zn.**

Les plantes $n \times 10^{-3}$ - $n \times 10^{-4}$, les plus riches $n \times 10^{-1}$ Zn. (p. e. *Thlapsi calaminif*, *Armeria vulgaris*, etc.).

Les animaux $n \times 10^{-3}$ - $n \times 10^{-4}$ % Zn.

18. PHOSPHORE.

1. Organismes phosphoreux. Peut-être quelques organismes, comme *Lingula*, dont le squelette est formé de $Ca_3P_2O_8$

2. Organismes riches en phosphore. Tous les Vertébrés. Quelques Crustacés (p. e. *Copepoda* ?). Quelques Annélides (*Onuphis*, etc.). Levures?

3. Organismes normaux par rapport au P.

Plantes $n \times 10^3 - n \times 10^{-1}$ % P.

Animaux : $n \times 10^{-1}$ % P ?

Je ne dirai que quelques mots des conséquences qu'on pourrait tirer de ce tableau. Nous constatons, dans des groupes d'organismes déterminés, qu'outre l'oxygène et l'hydrogène, les éléments suivants existent dans une proportion surpassant 10 de leur poids

Si	Ca	Mn ?	C
Al ?	Mg	S	P ?
Fe	Ba	Sr	

Ces éléments sont au nombre de 11. Mais les matériaux qui précèdent ont été amassés accidentellement, car ce phénomène n'avait pas attiré l'attention et ces organismes n'ont pas été cherchés. Des recherches ultérieures révéleront l'existence de nouveaux organismes de ce type.

Nous constatons en même temps qu'il existe pour les 12 éléments suivants (non compris les éléments habituels C, N, Ca) des organismes qui les accumulent en quantités qui surpassent 1 % du poids de l'organisme vivant

Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, I, Mn.

Il y a lieu d'attendre ici encore de nouvelles découvertes. Ainsi certains faits nous indiquent l'existence d'organismes de cette catégorie pour V, probablement pour le cuivre.

Résumant tous les faits connus, nous constatons que dans la matière vivante on peut trouver dans la première et seconde décade les éléments suivants (nous avons mis en italique ceux qui, en moyenne, pour tous les organismes se trouvent dans ces décades) :

I. *O, H, C, Si, Al ?, Fe, Ca, Mg, Ba, Mn ?, S, Sr, P ?*

II. *C, N, Ca, Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, I, Mn, - peut-être V, Cu.*

Ces concentrations d'éléments ne sont pas accidentelles. Nous savons que cette faculté accaparatrice des organismes s'est manifestée dans l'histoire géologique de la Terre, par la formation de différentes roches et minéraux calcaires, charbons de terre, tourbes, pétroles, lignites, limonites, silex, tripolis, quelques minerais de cuivre, etc.

Les éléments qui s'agglomèrent ainsi sont tirés par les organismes du milieu ambiant et soumis à une concentration. Ceci est évident quand on compare, par exemple, la composition de l'eau de mer à la composition des organismes aquatiques (en général). Nous voyons clairement que les organismes de la mer jouent le rôle de concentrateurs des éléments chimiques. Ainsi nous constatons la présence des éléments suivants dans l'eau de mer et les organismes vivants qui l'habitent en quantités suivantes :

	Matière vivante	Eau de mer
Si	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-3} \%$	$n \times 10^{-4} \%$
Al	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-3}$	$n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$
Fe	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-3}$	$n \times 10^{-4}$
Ca	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-2}$
K	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-2}$
P	$n \times 10^{-3} - n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-4}$

Certains éléments comme le chlore, le sodium, le magnésium présentent des phénomènes inverses, ce qui prète un caractère particulier à toute leur histoire dans l'Océan.

* * *

Je ne puis pas m'arrêter ici plus longtemps. Je ne veux dire que quelques mots sur les considérations découlant des faits précédents. Il est en premier lieu évident que la composition élémentaire des organismes est étroitement liée à la composition chimique de l'écorce terrestre les organismes s'y adaptent, remplissent dans l'histoire de l'écorce terrestre des fonctions déterminées. Leur composition, ainsi que leurs fonctions géologiques ne sont pas accidentelles. Il est étonnant que ces fonctions restent immuables pendant la durée des temps géologiques.

Le monde organique s'est transformé suivant des lois définies depuis l'ère algonkienne, où nous pouvons en retrouver les premières traces, jusqu'au temps présent les changements morphologiques survenus sont immenses. Mais sa composition chimique n'a pu subir de grandes modifications car, au cours des millions d'années qui se sont écoulées depuis lors, nous constatons la formation des mêmes minéraux pendant toute cette immense durée on observe pour les éléments chimiques les mêmes cycles qu'à l'époque actuelle. Et la matière vivante a dû infailliblement prendre part à la formation de ces minéraux, dans l'histoire de ces cycles. Il est évident qu'il a toujours existé des organismes différents au point de vue morphologique, mais, comme par la suite, siliceux, ferreux, calciques, magnésiens et au très, produisant la même action chimique que leurs analogues chimiques non morphologiques d'aujourd'hui. Dans le cas contraire, nous aurions trouvé dans différentes formations géologiques des minéraux différents, comme nous y avons trouvé des organismes différents. Mais cela ne s'est pas produit. Les mêmes minéraux se retrouvent dans les différentes formations géologiques, à commencer par l'ère algonkienne jusqu'à l'ère actuelle.

Ce n'est pas un hasard non plus que, pendant des millions d'années, l'évolution morphologique du monde organique ne se soit pas manifestée dans l'histoire des éléments chimiques. Ce n'est qu'aujourd'hui, à l'époque géologique présente, qu'est survenu un grand changement sous ce rapport, lié avec l'apparition d'un nouvel organisme, l'homme, formé à la suite d'une longue évolution et qui se trouve être un facteur géologique sans précédent dans l'histoire de notre planète. L'apparition sur la terre d'une humanité civilisée qui, avec l'aide de l'agriculture, s'est rendue maîtresse du substratum fondamental de la matière vivante, de la matière végétale verte, commence à changer chimiquement la face de notre planète, d'une façon dont nous n'apercevons ni la portée, ni la fin.

Je ne puis m'arrêter pour le moment sur ce nouveau phénomène. Il est évident que ce phénomène est aussi peu le résultat du hasard que tout ce que nous voyons autour de nous même si nous eussions tenté de fonder, comme on le fait parfois, la structure du monde et en particulier l'évolution, sur des coïncidences accidentelles, qui produisent sur nous l'effet d'obéir à des lois définies (les lois statistiques), il est incompréhensible que pendant la durée de siècles innombrables les fluctuations observées procèdent *toujours dans la même direction*, nécessaire à la structure de l'Univers.

Mais ces problèmes dépassent les limites de ce travail comme naturaliste empiriste, et j'ai hâte de revenir sur un sol plus solide. Il nous faut constater ici le changement survenu dans nos opinions sur l'écorce terrestre. Il se trouve que la composition chimique de l'écorce terrestre, avec laquelle la composition de la matière vivante est si étroitement et indissolublement liée, n'est pas provoquée par des processus géologiques. Elle dépend des propriétés des atomes. Et

quoique nous ne puissions expliquer ce fait, nous devons l'admettre. Oddo à Pavie en 1914, puis Harkins à Chicago, démontrèrent que l'écorce terrestre se compose d'éléments dont les atomes possèdent des propriétés spéciales. La plus grande partie, soit 86,7 % du poids de l'écorce terrestre, se compose d'atomes d'éléments correspondant aux atomes de nombres pairs du système périodique de Mendeleïev.

Ce sont les atomes dont les noyaux contiennent un nombre pair de charges électriques positives et sont riches en noyaux d'hélium. Il serait difficile d'invoquer ici un hasard, car la quantité d'atomes de nombres atomiques pair et impair est égale. La prédominance, dans ce cas de l'une de ces structures doit avoir une cause. Lorsque M. Harkins porta son attention sur d'autres corps célestes, qui peuvent se prêter à un tel calcul, vers les météorites, il put constater que ce phénomène y était encore plus fortement exprimé : 98,7 %) du poids des météorites se composent d'éléments de nombres atomiques pairs.

Il est évident que, quelque explication que nous donnions de ces phénomènes, la composition de l'écorce terrestre présente un mécanisme qui se trouve en rapport avec la structure des atomes qui la constituent; sa composition ne dépend pas de phénomènes purement géologiques.

La matière vivante joue un rôle immense dans ce mécanisme. Elle retient dans sa composition, à chaque moment, une quantité déterminée d'atomes des éléments cycliques, égale à $n \times 10^{-2}$ % (12) du poids de l'écorce terrestre; elle absorbe continuellement l'énergie radiante du Soleil et la transforme en processus auxquels est liée la formation de minéraux dans la biosphère. Et en même temps, dans la même partie superficielle de l'écorce terrestre, se trouvent d'autres éléments chimiques qui n'entrent pas dans la composition de la matière vivante, mais dont la désintégration atomique dégage de l'énergie. Cette énergie reconstitue les composés chimiques primaires, les minéraux, qui avaient été modifiés par la matière vivante. L'énergie atomique de ces éléments, très radioactifs, n'exige pas plus de $n \times 10^{-1}$ % de toute la matière de l'écorce terrestre. Cette fraction représente le poids de la matière chimiquement active de notre planète.

Il est peu probable que la composition d'éléments chimiques de cette matière transformée en principe actif, soit accidentelle. Et s'il en est ainsi la composition de la matière vivante, qui avait été si peu étudiée, ne l'est pas non plus. Il me semble que le moment de soumettre ce problème à une étude scientifique est venu.

Ce travail indispensable doit porter sur toutes les sciences biologiques. L'étude du seul organisme, sous beaucoup de rapports autonome, ne peut suffire à résoudre les problèmes biologiques.

L'organisme est indissolublement lié au mécanisme de l'écorce terrestre et doit être étudié en contact étroit avec lui. Il n'existe pas dans la nature d'organisme autonome qui ne soit pas lié avec l'écorce terrestre. Pour comprendre cet organisme, il est nécessaire de l'observer dans son milieu, dans l'écorce terrestre elle-même.

Le lien qui existe entre la composition des organismes et la chimie de l'écorce terrestre et l'importance énorme, prépondérante, que joue la matière vivante dans le mécanisme chimique de l'écorce terrestre, nous indiquent que ce n'est pas seulement par l'étude de l'organisme vivant qu'on arrivera à résoudre le problème de la vie. Ce problème ne peut être résolu qu'en étudiant en même temps la source première de la matière vivante, l'écorce terrestre.

Le fait que la composition de l'écorce terrestre ne peut être déterminée exclusivement par des observations géologiques, mais aussi par les propriétés des atomes, montre amplement que dans la vie se manifestent des propriétés qui n'appartiennent pas en propre à notre Terre.

V. Vernadsky,

Membre de l'Académie des Sciences de Petrograd.

Notes

2. Les éléments trouvés dans tous les organismes sont marqués d'astérisques. Les éléments constatés dans certains organismes sont en italiques.

3. *Il est possible que le glucinium (Be) appartienne à ce groupe, mais l'histoire de sa répartition dans l'écorce terrestre est mal étudiée. Les minéraux vadoses (formés dans la biosphère) n'ont pas été constatés d'une façon suffisamment certaine en ce qui le regarde.*
4. *J'espère avoir bientôt l'occasion de le faire dans un livre auquel je travaille depuis quelques années.*
5. *Sur ta différence de caractère des éléments chimiques dans l'écorce terrestre, voir mon article dans Priroda Spb, 1922, n° 3-5, p. 31 (en russe).*
6. *Où m est un certain coefficient numérique inconnu, qui ne dépasse pas le nombre 10.*
7. *Le coefficient n est inconnu pour le moment.*
8. *Je ne donne pas ici une énumération complète des organismes; mais seulement des exemples plus ou moins accidentels.*
9. *Il paraît qu'il y a des organismes peu près dépourvus de Ca, comme quelques champignons ?*
10. *Peut-être y a-t-il des organismes très pauvres en magnésium, n'en contenant que des traces, p.e. quelques champignons, lichens (Cladonia rangi/era), etc.*
11. *Il paraît que quelques Bactéries cultivées dans des milieux spéciaux sont des organismes sodiques.*
12. *Le coefficient n dépasse probablement considérablement l'unité. Il est même probable que le poids de la matière vivante peut être exprimé par $m \times 10^{-1} \%$ où m se rapproche d'une unité.*