

Vladimir Vernadsky

**La Matière vivante et
la chimie de la mer**

1924

Vernadsky.fr

Vive le matérialisme dialectique !

PREMIÈRE PARTIE

I. INTRODUCTION

1. Je me propose de traiter ici de quelques phénomènes peu étudiés, quoique destinés à transformer dans un temps très prochain le domaine de l'*Océanographie chimique*. Je ne parlerai pas de l'immense intérêt que ces phénomènes présentent au point de vue de leur application, quoique tout le développement scientifique de l'Océanographie se trouve en rapports continuels et étroits avec son rôle pratique dans la vie humaine. C'est précisément pourquoi les problèmes dont l'importance est évidente ont été le plus étudiés. Dans ce domaine, on s'est occupé des propriétés physiques et mécaniques des mers dont la connaissance est d'urgence pour la navigation et pour la pêche. De grandes sommes d'argent et beaucoup d'énergie ont été dépensées pour l'investigation des courants océaniques, des mouvements de la mer, de son échange gazeux, de la diffusion et de la distribution dans l'hydrosphère des organismes — de la matière vivante. Les problèmes de l'Océanographie chimique demeurèrent pendant longtemps à l'écart de ce mouvement, car ils ne semblaient présenter aucun intérêt pratique. C'est au cours de ces dernières années seulement qu'on a commencé à comprendre la portée pratique de ces phénomènes. Une discipline scientifique nouvelle, ayant pour objet l'adaptation chimique des produits de la mer aux nécessités humaines — la technologie chimique marine est en état de création. Cependant je ne m'arrêterai pas sur ces nouvelles recherches, car il me semble qu'à l'heure actuelle il est plus nécessaire, pour le développement même de la technologie chimique marine, d'étudier les phénomènes fondamentaux de l'Océanographie chimique sans aucun rapport avec leurs applications pratiques. A mesure que les nouvelles enquêtes purement scientifiques de cette science en état de création élargiront l'horizon technique, des applications souvent inattendues jailliront d'elles-mêmes.

II. L'HYDROSPHÈRE

2. Les nouvelles idées de l'Océanographie chimique sont étroitement liées aux transformations de nos conceptions sur la structure de l'écorce terrestre dont l'océan forme une petite partie.

Nous appelons *écorce terrestre* la partie supérieure du globe terrestre, qui, comme nous le savons, se distingue totalement des autres, tant par sa composition chimique que par ses propriétés physiques et mécaniques. Son épaisseur, qui ne dépasse probablement pas 110-120 km. (au-dessus de la surface isostatique), correspond à peu près à 1/60 du rayon terrestre. Mais nous n'avons de données chimiques précises que pour la partie supérieure de l'écorce terrestre ne dépassant pas l'épaisseur de 16 km.

L'océan mondial dont nous étudions la chimie est entièrement compris dans les limites de cette partie de l'écorce terrestre. L'océan mondial ne recouvre pas entièrement la surface de notre planète il n'occupe que 71,4 % de cette dernière. Sa profondeur moyenne est d'environ 3,65 km., et, sans tenir compte des parties qui bordent les continents, elle n'est pas inférieure à 4 km. Dans ce dernier cas, cette plus puissante enveloppe aqueuse n'embrasse pas moins de 65 % de la surface terrestre.

Ces nombres nous prouvent, cependant, que l'océan mondial peut être considéré comme une enveloppe aqueuse de la planète, - l'*Hydrosphère*. Cette représentation gagne toujours plus de terrain dans la science. Ses racines plongent jusqu'au XVIII^{ème} siècle, quand un des cartographes distingués de l'époque (le Comte C. Claret de Fleurieu, 1738-1810) établit la notion scientifique d'un seul *Océan Mondial* embrassant toute la terre. Il comprenait les océans isolés comme des parties de l'Océan entier et unique. Mais bien avant cela, au XVI^{ème} siècle, il était devenu évident que l'eau prédominait à la surface terrestre (Gastaldi, 1562; A. Verga, 1579).

Cependant la notion de l'Océan Mondial comme enveloppe aqueuse ne pût être conçue qu'au XIX^{ème} siècle quand furent établies d'un côté sa grande profondeur moyenne (le ¼ de l'épaisseur connue de l'écorce terrestre), et d'un autre côté les oscillations de sa distribution et de son étendue dans le cours des temps géologiques.

Le lien de l'Océan Mondial avec l'écorce terrestre nous explique le fait que tout changement de nos idées sur l'écorce terrestre a une répercussion sur tous les problèmes de l'Océanographie chimique.

3. La quantité de matière incluse dans l'hydrosphère est immense. Cette quantité représente environ 7% du poids de l'écorce terrestre (à 16 km.) et s'élève à $1,4 \cdot 10^{18}$ tonnes métriques.

Nous devons considérer la matière de l'océan comme une partie de l'écorce terrestre, dont la composition, selon les découvertes scientifiques récentes, ne peut être déterminée par un complexe des phénomènes géologiques ou physico-chimiques, mais est en grande partie réglée par les propriétés chimiques des atomes, par leur structure. En somme, les éléments chimiques dont les atomes appartiennent aux nombres atomiques pairs du système périodique prédominent dans la masse de l'écorce terrestre.

Ce phénomène est moins nettement exprimé dans l'océan que dans toute l'écorce terrestre, car l'hydrogène, qui dans l'ordre habituel du système périodique occupe la première place parmi les nombres impairs, y joue le plus grand rôle. Mais nous ne devons pas oublier que la position de l'hydrogène dans le système périodique des éléments est tout à fait relative et nous aurions peut-être mieux fait de ne pas lui appliquer en attendant la notion du nombre atomique. Dans ce cas la prédominance des éléments aux nombres atomiques pairs égale presque celle que nous observons pour toute l'écorce terrestre.

4. La matière dont se compose l'hydrosphère est très inhomogène au point de vue chimique. Elle se compose d'un côté d'organismes vivants — de *la matière vivante*; d'un autre côté de la *matière brute*, dénuée de vie, morte.

L'histoire des éléments chimiques et leur distribution ont souvent un caractère tout à fait opposé dans ces deux manifestations de la matière. L'étude des processus géochimiques sous ce point de vue de l'inhomogénéité constitue une nouvelle acquisition de la science, nous donnant un nouvel aspect des phénomènes de l'Océanographie chimique. Nous prendrons ce principe pour base de notre étude.

III. LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HYDROSPHÈRE

5. Nous connaissons présentement 87 éléments chimiques aux nombres atomiques distincts parmi les 92 possibles théoriquement. Ils n'entrent pas tous comme éléments nécessaires et habituels de l'eau de mer et de la matière vivante qui en fait partie.

C'est ainsi que, parmi les 87 éléments chimiques connus, 31 éléments seuls entrent dans la composition de l'eau de mer chimiquement homogène. Il s'ensuit que ces 31 éléments chimiques peuvent être constatés dans chaque goutte d'eau de mer, si seulement nos méthodes d'investigation sont suffisamment sensibles. Ce phénomène fondamental de la constance de la *composition chimique de l'eau de mer* — identique dans tous les océans et dans toute leur masse — a été déjà constaté par les premiers chimistes qui l'ont étudiée au début de XIX^{ème} siècle. — A. Marcet avait signalé cette constance pour un petit nombre d'éléments principaux — il est vrai — il y a plus de 100 ans (1819). Marcet comprenait déjà que cette constance est non seulement qualitative, mais quantitative.

Mais ce sont les brillantes investigations du savant danois J. Forchhammer — produit d'un travail de longues années — qui établirent définitivement ce fait (1850-1869). Les travaux ultérieurs confirmèrent ses déductions pour tous les éléments chimiques.

Forchhammer constata aussi les oscillations de la composition de l'eau de mer à des époques, des points et des profondeurs différentes. Mais c'est surtout la concentration de la solution et non la composition de la masse saline, qui est sujette à de grandes oscillations. Les relations entre les éléments qui composent la masse saline, exprimées en poids, restent partout et toujours presque invariables.

6. Il s'ensuit que la composition de la masse saline de la mer a acquis un certain *équilibre dynamique* et ne subit pas de changements notables, quoique des quantités de matières nouvelles — comme nous le savons — sont régulièrement versées dans la mer et non moins régulièrement emportées en dehors de ses bornes.

De nouveaux travaux, accomplis sur toute l'étendue de l'Océan Mondial, Pacifique, Indien, Atlantique et Glacial, ont confirmé la loi de Forchhammer *la composition de la masse saline de l'Océan Mondial est presque invariable*. Elle est loin d'être formée de tous les éléments chimiques, mais seulement de certains d'entre eux. Généralement les 31-32 éléments chimiques constatés dans l'eau marine se trouvent aussi dans la matière vivante; 28 éléments chimiques sont constatés dans tous les organismes — les organismes marins — y compris sans exception, mais dans certaines espèces se trouvent beaucoup d'autres éléments chimiques, plus de 40 sans aucun doute. Il s'ensuit que ces éléments seront constatés aussi dans l'eau de mer, car les organismes en tirent les éléments nécessaires à leur vie.

Les différences entre les parties brutes et vivantes de l'hydrosphère ne sont pas d'ordre qualitatif, mais quantitatif. La composition des organismes ne correspond pas à la masse saline de l'eau. Ils tirent d'elle les éléments chimiques nécessaires à leur vie dans d'autres proportions et par ce fait accomplissent en fin de compte un immense travail dans l'écorce terrestre.

7. Nous ne connaissons pas exactement — à notre regret — ni la composition de la masse saline, ni la composition des organismes marins, car nous ne pouvons séparer avec précision l'eau brute, dénuée de vie, de la matière vivante. L'eau de mer que nous soumettons actuellement à l'analyse chimique contient toujours des organismes minimes — des bactéries, du microplancton, etc — qui passent à travers tous les filtres.

On considère habituellement que la quantité de la matière vivante — sous forme d'organismes microscopiques — qui reste dans l'eau analysée, est insignifiante en comparaison de sa partie saline, mais cette hypothèse n'est pas prouvée et dans beaucoup de cas elle est certainement fautive.

En réalité, nos analyses de l'eau de mer ne nous donnent ni la composition de la partie brute de l'eau de mer, ni la composition de l'eau de mer réelle, telle qu'elle existe dans la nature, — toujours pénétrée de vie.

Ces analyses représentent une quantité artificielle, qui exprime l'état de nos connaissances et non le phénomène réel de la nature. Or il serait facile d'avoir des données pour l'hydrosphère qui correspondraient au phénomène réel telle serait une analyse sommaire de l'eau de mer — de son contenu brut et vivant ensemble.

Comme il nous est impossible de séparer complètement la partie vivante de la partie brute dans l'eau de mer, *on devrait prendre pour les analyses toute l'eau en entier sans en dégager les organismes qui s'y retrouvent*.

Mais il n'existe pas de telles analyses. Nous nous voyons obligés de nous servir de celles qui existent, c'est-à-dire d'analyses d'eau dont ont été extraits les organismes comparativement grands.

Il est curieux que nous ayons une notion plus précise de la composition chimique de l'écorce terrestre solide, ayant à notre disposition plus de 5.000 analyses de roches, que de son enveloppe liquide, dont il n'existe que quelques centaines d'analyses, dont les échantillons n'ont en outre pas été pris correctement. Et cependant il serait bien facile d'acquérir une notion précise de la composition de la mer, étant donnée la constance presque absolue de la composition de l'Océan mondial.

Cela n'a pas été fait parce qu'on ne comprenait pas l'importance de ces chiffres. On ne se rendait pas compte que *la composition de l'Océan n'est pas un fait accidentel, que c'est une constante planétaire*, qu'elle est liée à des phénomènes chimiques de la biosphère et au caractère et à la structure des atomes qui en font partie.

8. En attendant le moment où nous aurons obtenu ces données précises, portons notre attention sur les faits existants, ne perdant jamais de vue qu'ils peuvent exiger des corrections, peut-être assez grandes, mais qui cependant ne changent pas essentiellement le phénomène, si nous n'allons pas trop loin dans l'analyse de ces chiffres.

Tableau I. — La composition moyenne de l'eau de mer*

Décade	%	Eléments chimiques	% (en poids)
I	$> 10^1$	O H	85,80. 10,67
II	$.. 10^1-10^0$	Cl Na	2,07. 1,14.
III	$.. 10^0-10^{-1}$	Mg	$1,4 \cdot 10^{-1}$.
IV	$.. 10^{-1}-10^{-2}$	S Ca K	$9 \cdot 10^{-2}$. $5 \cdot 10^{-2}$. $4 \cdot 10^{-2}$.
V	$.. 10^{-2}-10^{-3}$	C Br N Rb	$3,5 \cdot 10^{-3}$. $2 \cdot 10^{-3}$. $1,6 \cdot 10^{-3}$. $1,5 \cdot 10^{-3}$ (Schmidt).
VI	$.. 10^{-3}-10^{-4}$	Si Fe Ag P	$n \cdot 10^{-4}$ (n=3?). $1,5 \cdot 10^{-4}$ (Schmidt). $1 \cdot 10^{-4}$? (Wagoner). $n \cdot 10^{-4}-n \cdot 10^{-3}$? (Schmidt, Raben).
VII	$.. 10^{-4}-10^{-5}$	Ar F J B Cu	$5 \cdot 10^{-5}$. $3 \cdot 10^{-5}$ (Gauthier). $n \cdot 10^{-5}$ (n > 3?) (Gauthier). $n \cdot 10^{-5}$ (n > 2?) (Dieulafait). $n \cdot 10^{-5}$ (n=1-2?) (Rose et Bodansky).
VIII	$.. 10^{-5}-10^{-6}$	Li Au As Th	$6,8 \cdot 10^{-6}$ (Dieulafait). $1,2 \cdot 10^{-6}$ (Wagoner). $1 \cdot 10^{-6}$ (Gauthier). $1 \cdot 10^{-6}$ (Maximum ? Joly).
IX	$.. 10^{-6}-10^{-7}$	Zn	$n \cdot 10^{-7}$ (1 > 2?) (Dieulafait).
X	$.. 10^{-7}-10^{-8}$		
XI	$.. 10^{-8}-10^{-9}$		
XII	$.. 10^{-9}-10^{-10}$		
XIII	$.. 10^{-10}-10^{-11}$		
XIV	$.. 10^{-11}-10^{-12}$	Ra	$1,4 \cdot 10^{-12}$ (Lloyd, Mialock).

**Dans cette composition ne sont pas comprises : 1. toutes les parcelles flottantes retenues par les filtres ; 2. tous les organisme retenus par les filtres ; 3. la plus grandes partie des gaz dissous dans l'eau ; 4. toutes les parties salines emportées avec la vapeur d'eau dans les conditions habituelles des analyses d'eau de mer.*

Ce tableau nous prouve que nous ne connaissons même pas exactement la composition de l'eau de mer, quoiqu'il ne serait pas difficile de l'établir avec la plus grande précision. Or nous n'avons pour beaucoup d'éléments qu'une ou deux analyses quantitatives accidentelles.

IV. LA COMPOSITION DE LA MATIÈRE VIVANTE

9. Le problème touchant la composition de la partie vivante de l'eau de mer — des organismes vivants — se trouve dans un état encore plus déplorable. Nous ne pouvons donner ici de chiffres tant soit peu précis et ne pouvons que déterminer leur ordre. Nous ne pouvons, outre cela, séparer les organismes marins des organismes terrestres,

quoique nous n'ayons aucune raison de croire que leur composition soit identique. A défaut de mieux, contentons-nous du moins mauvais, car, somme toute, la différence entre la composition de la matière vivante — marine ou terrestre — et la composition de l'eau de mer, même incomplètement débarrassée de cette dernière, est tout à fait évidente.

10. Nos connaissances actuelles de cette composition sont exprimées dans la table ci-dessous.

Tableau II. — Composition moyenne de la matière vivante (terrestre et marine)

I ^{ère} décade	> 10 ¹ %	O, H.
II	.. 10 ⁰ -10 ¹	C, N Ca.
III	.. 10 ⁻¹ -10 ⁰	S, P, Si, K.
IV	.. 10 ⁻² -10 ⁻¹	Mg, Fe, Na, Cl, Al, Zn.
V	.. 10 ⁻³ -10 ⁻²	Cu, Br, I, Mn.
VI	.. 10 ⁻⁴ -10 ⁻³	As, B, F, Pb, Ti, V.
VII	.. 10 ⁻⁵	Ag.
VIII	.. 10 ⁻⁶	Au.

Nous voyons jusqu'à quel point nos connaissances d'un des principaux facteurs géologiques de l'écorce terrestre sont incomplètes.

V. LA COMPARAISON DE LA COMPOSITION DE L'EAU DE MER ET DE LA MATIÈRE VIVANTE

11. La comparaison de ces deux tableaux nous permettra quand même de tirer des conclusions assez importantes. Nous observons les mêmes éléments chimiques dans la première décade (O et H). A partir de la seconde décade et jusqu'à la fin, on constate de grands écarts. Deux éléments Br (5^è décade) et l'or (8^è décade) restent dans les deux cas dans les mêmes décades; tous les autres éléments chimiques présentent sous ce rapport de grandes divergences. Ainsi Na et Cl sont en quantités fortement prédominantes dans l'eau de mer (2^è décade), comparativement, à la matière vivante (4^è décade). Cette différence est peut-être un peu exagérée, car les liquides des organismes d'eau douce et des organismes terrestres sont moins riches en Na et Cl que ceux des organismes marins. Le tableau II nous donne une idée de la composition moyenne de tous les organismes et non exclusivement des organismes marins. Mais cette correction n'amène pas de changements essentiels. Dans d'autres cas, les différences réelles sont incontestables par exemple dans la 2^è décade de la matière vivante, on aperçoit une grande concentration d'éléments tels que le carbone (dans l'eau de mer, 5^è décade). Il ne faut pas oublier que, dans l'eau de mer analysée, une partie du carbone correspond aux organismes restés dans l'eau, l'azote (de même), le calcium (pour l'eau de mer 4^è décade, c.-à-d. la différence de quantité est de l'ordre $n=10^2$). Il n'est pas douteux que, pour ces éléments, il n'existe pas de grande différence entre les organismes marins d'un côté et les organismes d'eau douce et terrestres de l'autre.

12. Autant qu'il est possible de juger, la concentration des éléments dans les organismes en comparaison de cette concentration dans l'eau de mer est :

S	(min. 100 fois).
P	(min. 1000 fois).
Si	(min. 1000 fois).
K	(min. 10 fois).
Fe	(min. 100 fois).

Zn	(min. 10.000 fois).
Cu	(min. 100 fois).
J	(min. 100 fois).
As	(min. 100 fois).
B	(min. 10 fois).
F	(min. 10 fois).

On observe de grandes concentrations, qu'il est impossible d'exprimer actuellement en chiffres, pour Al, Mn, Pb, Ti, V.

13. Ce travail de concentration accompli par la matière vivante dans la mer se manifeste pour un grand nombre d'éléments, comme nous le verrons plus tard, dans la formation de minéraux dérivant de processus chimiques, liés à la destruction et à la décomposition des organismes après leur mort.

Or tous les éléments ne sont pas soumis à cette concentration par la matière vivante tel n'est pas le cas pour Br, ni pour Mg, Na, Cl, Ag.. Ces phénomènes sont très peu étudiés, nous ne commençons qu'à les aborder.

L'histoire du *chlore* et du *sodium* nous fournit des faits très intéressants. Comme nous l'avons vu, ils sont rassemblés en grande quantité dans l'eau de mer, y dominant, mais les organismes les contiennent en bien moindre quantité et leur rôle y est tout à fait spécial, non pareil à celui des autres éléments. Ils ne donnent aucun composé organique dans les organismes et ne sont soumis par eux à aucune concentration sous d'autres formes, comme nous l'observons pour Ca, P ou Si. On les trouve toujours ensemble dans les organismes ainsi que dans l'eau de mer; ils pénètrent les organismes et s'en dégagent sous la forme du même composé — de NaCl.

Ces éléments chimiques nous font l'impression de traverser seulement les organismes, dans le cas de leur pénétration simultanée sous forme de NaCl (par ex. de l'eau de mer dans les organismes marins), sans prendre part aux réactions chimiques qui y ont lieu. Lorsque ces atomes pénètrent sous forme d'autres sels, ils se combinent dans les humeurs de l'organisme, — marin ou terrestre, — et donnent de nouveau NaCl, — la même réaction que nous observons dans l'eau de mer. Finalement Na et Cl s'amassent dans les humeurs des corps des animaux terrestres supérieurs dans les mêmes proportions 1 : 1 que dans l'eau de mer. Les mêmes résultats sont obtenus dans les deux cas par suite des mêmes causes, par leur inertie chimique. Ce n'est pas, comme on le pense souvent, une répercussion de la composition de l'eau de mer des temps géologiques, quand les ancêtres de ces organismes habitaient les mers, que nous observons dans les humeurs des organismes, mais la manifestation de propriétés de la matière vivante actuelle. L'analogie de la composition de l'eau de mer avec les humeurs des organismes terrestres s'explique par des causes chimiques, principalement par le rôle chimique identique de NaCl dans les deux cas. Il est évident ainsi que les hypothèses courantes sur la composition différente de la masse saline des anciens océans en comparaison avec l'océan actuel, qui avaient été jugées nécessaires pour expliquer les différences de composition saline des humeurs des organismes et de l'eau de mer actuelle, deviennent très peu probables.

Ce phénomène est une suite de la composition hétérogène de la mer, de la présence en elle de la matière vivante. L'histoire distincte des éléments chimiques dans l'eau de mer et des humeurs des corps des organismes explique la différence entre la composition de ces deux milieux.

VI. LES PROCESSUS CYCLIQUES DES ELEMENTS CHIMIQUES

14. La nutrition et l'échange des matières entre les organismes, leur métabolisme, forment dans l'eau de mer des conditions chimiques particulières, qui n'existent nulle part ailleurs.

L'action qu'exercent la matière vivante et la matière brute l'une sur l'autre, réciproquement, leur présence simultanée, ont une grande influence sur la chimie de la mer un autre milieu chimique que celui qui correspondrait à leur

composition et à leurs conditions thermodynamiques si la vie n'existait pas dans l'océan, y est ainsi créé.

Les éléments chimiques entrant dans la composition des organismes, nécessaires à leur vie, les éléments *organogènes*, représentent 99,7- 99,8% du poids de l'eau de mer. Tous ces éléments ont une particularité. Leur histoire dans l'écorce terrestre s'exprime toujours par des *processus cycliques*, c.-à-d. qu'ils passent toujours par les mêmes modes de gisements, que ce soient des minéraux ou des organismes, et finissent par retourner à leurs formes initiales. Ces phénomènes cycliques — souvent très lents, parfois rapides — se renouvellent toujours avec le cours du temps. Ils sont depuis longtemps constatés pour l'oxygène, l'azote, le phosphore, le soufre, etc. — mais la géochimie les a prouvés avec certitude pour 28 éléments et avec probabilité pour 10 autres encore.

15. L'état de nos connaissances peut être représenté par le tableau III.

Tableau III.

- 1) Les processus cycliques comme modes de gisements caractéristiques sont constatés pour les éléments suivants Ag, Al, As, B, Ba, C, Ca, Cl, Cu, Fe, FI, H, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, O, P, Pb, S, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn.
- 2) Les processus cycliques comme modes de gisements caractéristiques sont probables pour les éléments suivants Bi, Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Sb, Se, Te, W.

16. Les processus cycliques sont étroitement liés aux déplacements géologiques de l'écorce terrestre, par suite desquels la matière, c.-à-d. les éléments chimiques, se déplacent d'une partie de l'écorce terrestre dans l'autre; ces éléments chimiques passent de ses couches supérieures dans les couches plus profondes et inversement.

Toute la matière de l'écorce terrestre est inévitablement entraînée par ce déplacement dans la durée des temps géologiques. A la surface terrestre les éléments chimiques se rassemblent (sur la terre ferme jusqu'à la profondeur de 0,5 - 1,0 kilomètre) dans des formes particulières de minéraux — nommés *vadoses* [*On nomme les modes de gisements des éléments chimiques qui sont stables et se forment dans la biosphère*]. Toute l'*hydrosphère en entier présente un champ de processus choses, consiste en minéraux vadoses* qui en sont les produits, et en matière vivante. Toute la matière vivante aussi se trouve exclusivement concentrée dans la région des processus chimiques vadoses (dans la *biosphère*.)

Les minéraux vadoses et les organismes ne sont stables que dans l'enveloppe de l'écorce terrestre où ils se forment, c.-à-d. dans la biosphère; ils se décomposent dès qu'ils la quittent et se transforment en d'autres corps.

On peut distinguer encore deux autres enveloppes thermodynamiques dans l'écorce terrestre supérieure (jusqu'à 16 km. d'épaisseur) — l'*enveloppe métamorphique* (aux *minéraux* phréatiques stables qui s'y forment) et l'*enveloppe magmatique* (aux *minéraux juvéniles* stables qui s'y forment).

Le passage des modes de gisements vadoses, phréatiques et juvéniles des uns aux autres caractérise l'éternel processus cyclique dans l'histoire des éléments chimiques cycliques de l'écorce terrestre. Une partie considérable de la matière de l'enveloppe magmatique ne donne pas de composés, — de minéraux, — mais présente une masse fondue ou à demi fondue, pénétrée de gaz, se trouvant sous pression — le magma.

VII. L'ÉNERGIE DES PROCESSUS CYCLIQUES

17. L'énergie libre des processus cycliques, une fois le cycle achevé, est égale à zéro, et pendant toute la durée du processus tend vers un minimum. Leurs différents stades présentent des équilibres stables. *Un afflux d'énergie extérieure est nécessaire pour renouveler le processus.*

Les processus cycliques naturels — si nous laissons de côté les détails — tirent cette énergie extérieure tant de la surface de l'écorce terrestre, de la biosphère, que des régions métamorphiques et magmatiques. Dans le premier cas, *les organismes verts à chlorophylle sont ces porteurs — des accumulateurs amassant et distribuant l'énergie radiante du soleil* qu'ils transforment en énergie chimique, et les bactéries inférieures qui utilisent des minéraux vadoses riches

en oxygène. Cet oxygène est tiré en fin de compte par la même énergie radiante du soleil. Dans le second cas, la source de l'énergie de la terre doit être cherchée dans *l'énergie atomique dégagée par la décomposition radio-active des atomes de la matière*.

18. Il est depuis longtemps reconnu que le charbon de terre et autres minéraux organogènes renferment de l'énergie du Soleil, qu'ils ont conservée. Nous utilisons cette énergie en employant ces minéraux à obtenir de nouveaux composés chimiques, de la chaleur ou de la force mécanique. Mais il en est de même pour tous les minéraux vadoses, car ils sont tous, d'une façon directe ou indirecte, liés à la matière vivante, c.-à-d. à l'accumulateur de l'énergie solaire. *Aussi tout minéral vadosé, tout composé chimique de la mer est une forme de manifestation de l'énergie cosmique radiante du soleil.*

Consécutivement la matière vivante représente au point de vue chimique un état actif de la matière dont l'énergie chimique peut être transformée en d'autres formes (en énergie mécanique, thermique, etc.). Les minéraux, les molécules chimiques à la formation desquels la matière vivante prend part sont aussi des porteurs de la même énergie — qui n'est autre chose que la transformation de l'énergie radiante du Soleil. Mais cette énergie se trouve dans les minéraux à l'état potentiel.

19. L'énergie des organismes, de la matière vivante est en majeure partie une énergie libre, qui peut produire du travail. *La matière vivante est une des formes de la matière activée et son énergie est proportionnelle à sa masse.*

Cette masse n'est pas considérable en comparaison de toute la masse des atomes qui construisent l'écorce terrestre. Le poids de la matière vivante, de la totalité des organismes peuplant notre globe terrestre, s'exprime par des chiffres de l'ordre $n \times 10^{-2}$ à $n \times 10^{-1}$ % du poids de l'écorce terrestre de 16 km. D'épaisseur.

Cette petite quantité de matière produit un immense travail dans l'écorce terrestre. Il est remarquable que la quantité d'une autre matière activée qui existe dans l'écorce terrestre et qui produit un travail chimique non moins grand, la masse des éléments fortement radio-actifs, dont l'énergie atomique libre est proportionnelle à la quantité de leurs atomes, est aussi très petite. Leur décomposition détermine l'énergie intérieure de l'écorce terrestre et leur poids s'exprime en fractions peut-être plus minimes — représentant $m \times 10^{-3}$ à $m \times 10^{-4}$ du poids de l'écorce terrestre. *Toute la matière active de l'écorce terrestre dont l'énergie maintient tous les processus cycliques (au fond 99,8% de sa masse) ne dépasse pas en fin de compte $p \times 10^{-1}$ à $p \times 10^{-2}$ % du poids de l'écorce terrestre.*

VIII. LA MATIÈRE VIVANTE

20. Revenant à l'océan, nous observons qu'il se compose de matière brute, inerte, et de matière vivante, chimiquement active. Cette dernière, dont la quantité dans l'océan nous est inconnue, mais est comparativement considérable, amène incessamment les déplacements les plus variés d'éléments chimiques, absorbe et transforme l'énergie du Soleil. L'importance immense que doit jouer la matière, vivante dans toutes les réactions de la chimie de la mer nous devient ainsi évidente.

J'emploie ici comme antérieurement le terme de *matière vivante*. Je le fais en toute conscience de cause. Les organismes se manifestent tout autrement dans les phénomènes géologiques et géochimiques que dans les processus biologiques.

L'organisme individuel y disparaît, les propriétés morphologiques perdent leur importance. Les agglomérations des organismes, et non leurs individus jouent un rôle dans les phénomènes grandioses de la nature. La masse des organismes, leur composition chimique, leur énergie se manifestent dans les processus géochimiques. Aussi je ne considérerai les organismes qu'exclusivement à ce point de vue *et appellerai matière vivante l'ensemble des organismes réduits à leurs poids, à leur composition chimique et à leur énergie*. La matière vivante ainsi conçue peut être comparée à d'autres corps, qui jouent un rôle dans la chimie de l'écorce terrestre, — aux minéraux, aux roches, aux gaz et aux liquides.

21. La matière vivante marine composée d'éléments cycliques, matière dont chaque atome prend part à quelque processus cyclique dans l'histoire de la Terre, doit inévitablement se trouver dans l'océan dans un état d'équilibre

dynamique stable.

L'étude des processus cycliques des différents éléments qui entrent dans la composition de la matière vivante, leur distribution dans la mer et leur corrélation avec la composition de la mer nous donneront un tableau général de la chimie de la mer. *La matière vivante est le facteur principal déterminant cette chimie.*

IX. LA MATIÈRE VIVANTE DE L'OCÉAN

22. La première question qui se présente est celle de la quantité de matière vivante existant dans la mer et de sa distribution dans cette dernière.

Nous ne pouvons malheureusement donner des réponses précises et nettes à ces, questions si simples et si naturelles. Elles ont trop peu attiré l'attention et n'ont pas été suffisamment étudiées.

Il est évident que la distribution de la matière vivante — la matière activée dans l'océan — n'est pas l'effet du hasard. Tout un monde de plancton, d'organismes minimes, pour la plupart microscopiques, qui nagent toujours à la surface de l'océan et y passent toute leur vie, remplissent d'une couche ininterrompue cette surface. La plus grande partie de la matière — porteur de chlorophylle — qui capture l'énergie radiante du soleil, est disséminée dans ce plancton sous l'aspect d'organismes unicellulaires minimes.

La pellicule du plancton, riche en organismes, mince et étroite, — continuellement décomposée et aussitôt à nouveau reconstruite, — s'étend sur des millions de km², qui forment une région riche en matière vivante de 50 m. de profondeur et par places davantage. Parfois elle s'élève jusqu'à la surface même de la mer, parfois descend à des dizaines de mètres en profondeur. Sa répercussion se manifeste dans une couche d'eau à la profondeur de 100 à 200 mètres — plus pauvre en matière vivante planctonique. La quantité de la matière vivante atteint par places plusieurs pour cent (en poids). Dans le plancton prédominant des algues vertes unicellulaires et de nombreux organismes animaux, aussi en partie unicellulaires, qui en dépendent, car ils bâtissent leurs corps de la matière des plantes ils transforment les composés qui sont formés dans les plastides à chlorophylle.

Il existe sur la surface de l'océan, à part le plancton, d'autres formes d'agglomérations d'organismes, produisant un non moins grand travail chimique. Tels sont les amas dispersés partout des algues supérieures vertes et rouges, liées par leur genèse aux parties littorales de l'océan, mais qui accomplissent leur travail géochimique à une distance de centaines et de milliers de km. des bords des continents et des îles. La mer des Sargasses dans l'Océan Atlantique, occupant un espace de centaines de milliers de km², présente un des nombreux, mais peut-être le plus éclatant exemple de pareilles formations. Elle déborde de la vie la plus variée, a encore plus riche et concentrée que les agglomérations habituelles du plancton. *[Elle dépasse de plusieurs fois $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^{-2}$ % car l'hydrosphère représente par son poids 7% du poids de l'écorce terrestre, étant la partie de l'écorce la plus riche en vie.]*

23. Des agglomérations de vie encore plus grandes peuvent être observées dans les parties limitrophes de l'océan sur des dizaines et centaines de kilomètres en largeur, le long des continents, aux bords des îles, au-dessus et aux environs des bas-fonds et des bancs. Nous constatons ici un épanouissement de vie merveilleux; elle profite de tout espace accessible, les organismes pénètrent l'un dans l'autre; l'intensité du métabolisme des éléments chimiques atteint par endroits la plus grande échelle connue.

Ces régions littorales, à la vie si riche, s'étendent à une profondeur de près de 300 à 400 mètres, jusqu'au point où pénètrent les rayons du soleil. Les espaces qui leur correspondent sont déterminés par le relief du fond de la mer.

L'intensité de vie aux bords des rivages et l'invisibilité du plancton ont durant de longues années donné lieu à une représentation erronée de la distribution de la vie dans l'océan. On considérait que toute la vie se concentrait aux alentours des rivages, tandis que les profondeurs des mers et l'immense Océan Mondial, découvert au XVI^{ème} siècle, en étaient dépourvus. Un revirement d'opinion se fit dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle : on découvrit le plancton et l'existence de la vie à toutes les profondeurs jusqu'à 6 kilomètres et davantage. On fit d'abord la découverte de la vie du fond les manifestations variées du benthos à toutes les profondeurs accessibles à l'homme.

Il se trouva ensuite que les puissantes couches d'eau intermédiaires de plusieurs kilomètres d'épaisseur contiennent des êtres vivants; il se peut en moindre quantité que le fond. Mais elles sont certainement pénétrées de vie, bien que cette vie n'ait pas été suffisamment étudiée jusqu'à présent.

24. Mais la vie fut découverte là où on ne s'y attendait pas. Tout un monde de microbes, de bactéries de diverses espèces qui changent les phénomènes chimiques de la mer de la façon la plus variée et intense, fut découvert dans la masse même de l'eau.

Leur rôle dans l'histoire de l'azote, du calcium, de l'oxygène, du soufre, du fer, du manganèse, du phosphore, se révèle avec une netteté et une ampleur toujours plus grandes.

A la place des anciennes représentations fantaisistes de grandes masses d'eau privées de vie, composant la plus grande partie de l'hydrosphère, ressuscitent sous l'influence de ces nouveaux faits les rêveries des philosophes de la nature du début du XIX^{ème} siècle, qui considéraient tout l'océan comme pénétré de vie et recherchaient la génération spontanée de cette dernière dans ses profondeurs.

Une pareille représentation de la quantité de vie dans l'océan est une exagération. Mais il est certain que la vie est bien plus répandue dans la masse des mers, qu'on ne l'avait pensé au siècle passé. Et si la quantité de vie perceptible aux grandes profondeurs, dans le fond abyssal et dans les couches intermédiaires, est comparativement peu considérable, elle pénètre quand même partout, et, prenant en considération la mobilité de ses porteurs, il est douteux qu'il puisse exister un endroit de l'hydrosphère longtemps privé de sa présence. Tout l'océan doit être considéré, dans chaque point de son étendue, comme un mélange indissoluble de la matière inerte et de la matière vivante — cette dernière toujours changeante, transformant sans cesse chimiquement le milieu ambiant, l'eau. Un continuel courant d'atomes se dirige de la matière brute vers la matière vivante et vice versa, et ce courant subsiste alors même que les conditions extérieures — physiques et chimiques — resteraient invariables et constantes, car il est provoqué par la force mystérieuse de notre planète, — par la Vie.

X. LE BILAN DE LA MATÈRE DE L'OCÉAN

25. Mais l'Océan Mondial, avec les processus complexes d'équilibre qui s'y déroulent, ne constitue pas un fait isolé dans l'écorce terrestre. Sa matière se trouve dans des rapports d'échange étroits avec l'atmosphère et la terre ferme, et cet échange joue un rôle immense non seulement dans la chimie de la mer, mais dans la chimie de toute l'écorce terrestre. La chimie de la mer ne peut être comprise en dehors de lui. Tous les processus cycliques observés dans l'océan fonctionnent en dehors de ses limites, et composent avec les processus de la terre ferme et de l'atmosphère un seul et même phénomène. L'enveloppe terrestre extérieure la biosphère présente au point de vue chimique un tout unique, et l'Océan mondial en est une partie intégrante.

Malgré les continuels courants qui apportent la matière dans l'océan et l'emportent hors de lui sur la terre ferme ou dans l'atmosphère, et inversement, la composition de l'eau de l'océan et le caractère des réactions chimiques qui s'y passent restent sans changements. Le bilan de la mer, c'est-à-dire l'absorption par la mer des éléments chimiques de la lithosphère et de l'atmosphère et leur rejet par la mer, *doit aboutir à peu près à un équilibre*. La perte des éléments par la mer doit être compensée par un apport des mêmes éléments.

Il est aisé de se convaincre que la matière vivante joue un rôle décisif dans ce principal et important phénomène de la chimie de la mer.

26. Le bilan de la mer peut être exprimé par le schéma ci-après :

Tableau IV. — Bilan de la mer

A. Matière apportée dans la mer de la terre ferme et de l'atmosphère.	B. Matière emportée en dehors de la mer sur la terre ferme et dans l'atmosphère.
1. Météores aqueux (pluie et neige) apportent la poussière, les météores aqueux contiennent de la	1. Évaporation de l'eau qui entraîne non seulement l'eau, mais Na, Cl, etc.

matière dissoute. 2. Vents. 3. Organismes de la lithosphère. 4. Action dissolvante de l'océan sur les rivages et le fond. 5. Poussière et gaz cosmiques. 6. Fleuves — versant dans l'océan de grandes quantités de matières dissoutes et en suspension. 7. Absorption des gaz de l'atmosphère par l'eau de mer. 8. Activité de l'homme.	2. Vents et embruns. 3. Dépôts marins solides, formant le fond de l'océan. 4. Échange des gaz, diffusion des gaz sous l'influence des changements de température et de pression. 5. Migration des organismes marins sur la terre ferme. 6. Nutrition des organismes marins sur la terre ferme. 7. Activité de l'homme.
--	---

DEUXIÈME PARTIE

XI. LES ORGANISMES ET L'APPORT DE MATIÈRE DANS L'OCÉAN

27. De grandes quantités d'organismes, pour la plupart minuscules, sont apportés à la mer par les météores aqueux et le vent. L'influence des organismes se manifeste également dans les processus de l'érosion du fond et des rivages de l'océan par l'action de l'eau.

Mais son action se manifeste surtout dans le *régime chimique des fleuves*, qui sont la source principale de l'introduction de matière dans la mer.

Les fleuves versent, dit-on, bien plus de matière que tous les autres agents de ce processus, pris ensemble.

Les investigations des dernières décades, faites dans l'Amérique du Nord en majeure partie par F. Clarke dans le laboratoire du Comité géologique fédéral de Washington, et sous son influence dans d'autres endroits, nous permettent d'établir ce phénomène en traits généraux. Ces faits nous démontrent l'extrême importance de la vie dans ce processus. La composition moyenne des grands fleuves, qui parcourent des centaines de kilomètres sur les continents dans des conditions physico-géographiques très diverses et variées, présente beaucoup de similitude, est même presque identique avec la composition moyenne de l'eau des fleuves tirée de toutes les analyses existantes. Mais la composition de chaque rivière en particulier, surtout des petites rivières, ou la composition de la même rivière en différents points de son parcours est très différente selon les conditions biogéographiques des localités qu'elle parcourt. Les rivières qui traversent des régions arides et dénuées de végétation — pauvres en vie — sont riches en sulfates et chlorures, pauvres en Ca, riches en Na. Les rivières qui passent par des régions humides, fertiles, pénétrées de vie, sont pauvres en sulfates, riches en carbonates; parmi les métaux prédominent les alcalinoterreux. Dans la masse générale d'eau versée dans l'océan prédominent les rivières de la seconde catégorie et elles peuvent être considérées comme caractéristiques pour tout le phénomène. Nous pouvons ainsi affirmer que la composition saline de l'eau des rivières versée dans l'océan dépend de processus bio-chimique.

28. La *composition des gaz* pénétrant l'eau de mer entière n'en dépend pas moins. Un savant français de grand talent, Aimé, prouva le premier en 1840 la propriété originale de l'eau de mer: l'eau absorbe les gaz de l'atmosphère par la surface de la mer et ils pénètrent à travers toute son épaisseur, même sur plusieurs kilomètres, jusqu'au fond même de l'océan, conservant les mêmes relations entre l'oxygène et l'azote que celles qui correspondent à leur stabilité relative dans l'eau de mer. Cette relation entre l'oxygène et l'azote dissous dans l'eau de mer, troublée pour une raison quelconque, ne tarde pas à se rétablir immédiatement.

Nous constatons en somme que l'atmosphère pénètre jusqu'au fond de la mer; elle ne se distingue de l'atmosphère qui surmonte l'océan que par sa richesse en oxygène, c.-à-d. présente un milieu plus propice au développement de la matière vivante. Cet oxygène fait constamment partie de la composition des organismes vivants il leur est nécessaire pour la respiration, mais, absorbé par eux, il est immédiatement remplacé par celui qui provient de l'action d'autres

organismes — organismes à chlorophylle — qui le tirent de l'acide carbonique.

Ces faits nous prouvent l'action régulatrice des organismes, de la matière vivante, sur la composition des gaz de l'eau de mer. Mais ce n'est pas encore tout.

Les phénomènes de l'échange gazeux ont depuis longtemps attiré l'attention des océanographes nous sommes en présence d'une branche de connaissances comparativement bien étudiée, où l'importance de cet échange pour les problèmes appliqués — les conditions de vie des organismes qui intéressent l'industrie (p. e. les poissons) — avait depuis longtemps été mise en évidence.

Le rôle des organismes vivants dans ces phénomènes avait été depuis longtemps établi. Le régime des gaz de la mer et de l'eau douce dépend en grande partie de ces organismes, et en même temps leur développement ou leur mort est la conséquence de ce régime.

29. Tout l'oxygène libre de l'eau — y compris celui qui y pénètre par l'air — est en fin de compte exclusivement produit par la matière vivante. Une grande partie de l'acide carbonique de l'atmosphère a la même genèse. L'acide carbonique d'origine purement organogène dépasse, à ce qu'il paraît, par sa quantité l'acide carbonique qui pénètre de l'atmosphère dans l'eau de l'océan.

Toute la matière vivante qui imprègne les couches marines vit aux dépens de cet oxygène et de l'acide carbonique dissous dans l'eau. Aussi est-il évident que nous pouvons *considérer la matière vivante comme une des causes principales dit régime des gaz de l'océan*. Seule une petite partie de ces gaz — dans les émanations des volcans, des sources gazeuses et des sources minérales — est indépendante de la vie.

30. L'action chimique de la vie se manifeste clairement dans l'absorption de la matière vivante de la lithosphère par la mer. Cette matière vivante ne comprend pas seulement les cadavres emportés dans la mer par les fleuves, mais les organismes vivants entraînés par le vent, les ruisseaux, les fleuves, les météores aquatiques. En somme la quantité d'une telle matière est immense ; ces organismes périssent dans l'océan, y laissent leurs éléments chimiques, tirés de la lithosphère, qui, dans les nouvelles conditions, passent bientôt à de nouveaux modes de gisement qui sont les caractéristiques de l'hydrosphère.

31. Mais à part cela il existe dans la structure de la matière vivante des adaptations spéciales qui permettent de verser dans l'océan — continuellement et infailliblement — temporairement ou définitivement — la matière vivante, qui entraîne avec sa masse les éléments chimiques de la lithosphère et les dépose dans la mer. Ainsi s'effectuent les continuelles migrations d'immenses troupes de jeunes poissons d'eau douce dans la mer — par exemple les anguilles — qui passent dans l'océan certains stades de leur développement et retournent de nouveau dans les bassins saumâtres.

Une grande quantité de matières est entraînée de la lithosphère dans l'océan par les phénomènes de vie de la faune littorale oiseaux nageant et autres organismes, qui même durant leur séjour temporaire dans la mer y apportent en fin de compte de grandes quantités de la matière terrestre.

Le rôle de la matière vivante dans tous ces phénomènes divers de l'apport des matières de l'atmosphère et de la lithosphère dans l'hydrosphère — est évident. Il est certain que l'activité de l'homme doit être comprise aussi ; son influence se manifeste dans l'accroissement de sa flotte, dans le changement du régime des fleuves, du caractère des rivages et de l'apport de la matière de la lithosphère qui en est une suite.

Il est probable que la matière cosmique seule peut être considérée comme un phénomène d'enrichissement matériel de la mer tout à fait indépendant de la vie.

XII. LES ORGANISMES ET LA MATIÈRE EMPORTEE HORS DE L'OcéAN

32. Le même rôle de la vie se manifeste dans le processus inverse la perte de matière par la mer et sa restitution à la lithosphère ou à l'atmosphère.

L'influence de la matière vivante dans les phénomènes d'évaporation de l'embrun et du ressac — si toutefois elle s'y fait sentir — n'est pas grande, est accidentelle. Au reste ces phénomènes ne jouent qu'un rôle insignifiant dans le bilan général et l'océan ne perd par cette voie qu'une quantité minime de matière.

Mais l'influence qu'exerce la matière vivante se manifeste par le dégagement des gaz et par tous les autres phénomènes de perte de la matière par l'océan. Je ne m'arrêterai pas sur la terre ferme.

Nous avons ici des phénomènes analogues à ceux qui ont été indiqués pour les processus inverses de l'apport de la matière dans l'océan. L'émigration des poissons de mer ou des reptiles de mer (les tortues), des crustacés (p. e. des crabes, etc.) présente un processus dont la portée dépasse peut-être de beaucoup par son importance celui du passage des animaux terrestres dans la mer.

Mais ce ne sont pas là les processus principaux, ceux qui équilibrent l'apport de la matière par les fleuves. Ce dernier équilibre est produit par : 1° la vie des animaux terrestres qui tirent leur nourriture de la mer, et 2° par les processus qui transforment en un état stable et indissoluble les matières dissoutes dans l'eau de mer et en forment des dépôts sur son fond. Le point essentiel est que non seulement le premier processus est lié à la vie, mais que le second — processus bien plus puissant — des dépôts marins est aussi réglé par elle.

33. Je ne dirai que quelques mots sur l'importance que présente l'activité des animaux terrestres. Nous ne nous rendons habituellement pas compte de la portée de leur vie au point de vue géochimique. L'appareil qui à l'heure présente remplit cette fonction est représenté principalement par le règne des oiseaux — des organismes ailés. En particulier, il se manifeste par leurs migrations périodiques, qui forment une importante et caractéristique partie du mécanisme qui mélange les éléments chimiques sur la surface de notre planète. Des myriades d'oiseaux accomplissent d'immenses migrations à des dates régulières, ils traversent des milliers de kilomètres et transportent dans leurs corps d'un lieu à d'autres de notre planète des éléments chimiques, accomplissant par ce procédé un immense travail chimique. Un grand rôle est rempli par les oiseaux marins, qui arrivent en hiver dans les pays chauds et au printemps s'envolent pour les rivages froids de l'océan. Mais aussi la masse principale des oiseaux marins qui restent toujours sur place (par exemple les pingouins et d'autres oiseaux qui forment des marchés d'oiseaux) accomplissent un travail identique. Ils tirent continuellement de la mer une grande quantité d'éléments chimiques pour leur nourriture, et les transportent sur la terre ferme. La portée de ce phénomène est évidente. Il suffit de nous représenter la quantité des restes qui se rassemblent sous forme de guano dans des conditions climatiques favorables. Dans les régions littorales de l'océan — pauvres en météores aquatiques — ils forment des masses de dizaines et de centaines de milliers de tonnes.

XIII. LES DÉPÔTS DE LA MER ET LA MATIÈRE VIVANTE

34. Mais si importants que soient ces processus, ils occupent, semble-t-il, le second plan en comparaison du *processus fondamental qui règle l'échange des matières entre la terre ferme et la mer*. C'est la transformation de la masse saline de l'océan en corps solides insolubles ou dépôts marins.

L'échange cyclique de la matière entre la terre ferme et la mer est réglé, dans sa masse principale, par deux processus physico-géographiques fondamentaux : l'hydrosphère reçoit de la lithosphère, par l'intermédiaire des rivières, la plus grande masse des éléments chimiques, et la lithosphère les reprend de l'hydrosphère pour la plupart sous forme de dépôts solides de substances dissoutes dans l'eau. L'étude de ces deux phénomènes nous donne une notion générale de l'échange cyclique de la matière entre la terre ferme et l'océan. Nous savons que la composition et le caractère de la matière soluble apportée par les rivières sont entièrement déterminés dans leurs traits principaux par les phénomènes de la vie. On peut prouver que le phénomène de la vie règle de même le processus chimique des dépôts solides des fonds des mers.

35. L'eau de mer constitue une solution très diluée. Tous les sels qu'elle contient sont loin d'être dans un état de saturation. Cela devient évident si nous représentons la composition de l'eau de mer sous forme de solutions de sels :

NaCl	2,91
------	------

MgCl ₂	0,41
MgSO ₄	0,18
CaSO ₄	0,13
K ₂ SO ₄	0,09
MgBr ₂	0,01
CaCO ₃	0,01

Le composé principal NaCl présente même une solution diluée (une solution saturée à la température habituelle contient 27% NaCl). La différence est encore plus marquante pour les autres sels.

36. Il est clair que les sels ne se déposent à l'état solide dans de pareilles solutions que quand l'eau en est définitivement dégagée. Une pareille concentration de l'eau de mer ne s'observe dans la nature que dans des cas exceptionnels et embrasse de petites superficies de l'hydrosphère. Nous savons cependant que des matières dissoutes se déposent constamment et sans interruption à l'état solide dans les océans et les mers.

Il est clair que ce n'est pas le processus simple de cristallisation ou de dépôt chimique. C'est dans ses traits principaux un processus biochimique qui dépend d'une manière directe ou indirecte des organismes.

Cela devient évident quand on considère les dépôts qui se forment par l'évaporation et par la concentration de l'eau de mer. Dans ces solutions salines concentrées, tous les organismes périssent et les dépôts se forment dans un milieu exempt de vie.

Ces dépôts sont tout autres que ceux de l'océan, rempli de vie. Ici se dépose NaCl, qui habituellement reste en solution dans l'océan, le gypse (CaSO₄·2H₂O). tandis que dans des conditions normales il se forme dans la mer des carbonates ou des phosphates complexes de calcium. Par l'évaporation se forment des hydrates, des sels doubles — chlorures et sulfates — de Ca, Mg, Na, qu'on ne trouve jamais dans l'océan. Nous n'observons des dépôts de NaCl, de gypse, des hydrates de sels dans la nature, qu'après la cessation de la vie et le dessèchement des bassins marins, dans les gisements salins formés par ces processus.

XIV. LE TRAVAIL CHIMIQUE DES RIVIÈRES

37. Encore quelques mots sur ce processus. Comparons l'apport par les fleuves d'éléments en solution aqueuse et leur dégagement par des processus biochimiques sur le fond, aux bords de l'océan et dans l'atmosphère.

Comparons la composition moyenne de l'eau de l'océan avec la composition moyenne de l'eau des rivières qui s'y déversent continuellement. Cette comparaison fut faite, pour la première fois, par le savant écossais J. Murray et, quoique basée sur des données très insuffisantes, elle aboutit cependant alors à des conclusions importantes. Je présente ici les calculs plus récents de F. Clarke (1920), qui cependant ne changent pas essentiellement les conclusions tirées par son prédécesseur :

	Les rivières apportent annuellement à l'océan en dissolution* :	Se trouvent dans l'océan en dissolution :
CO ₃	96,13 ' 10 ⁷ t. métr.	9,56 ' 10 ¹³ tonnes m.
SO ₄	33,2 —	355,3 —
Cl	15,54 —	2.553,8 —
Br	— —	8,6 —

NO ³	2,46	—	—	—
Na	25,84	—	1.413,0	—
K	5,80	—	51,8	—
Ca	55,77	—	55,28	—
Mg	9,33	—	172,10	—
(AlFe) ₂ O ₃	7,52	—	—	—
SiO ²	31,92	—	—	—

**Les matières organiques n'ont pas été prises en considération.*

38. La comparaison de ces nombres démontre clairement que les corps chimiques apportés par les rivières se dégagent des solutions de l'océan de différentes façons et sans aucun rapport avec leur concentration.

Les rivières versent dans l'océan de grandes masses d'eau et y introduisent de grandes quantités de sels. En somme, elles versent annuellement $2,78 \cdot 10^{13}$ tonnes métriques d'eau, et cette eau ne contient pas moins de $2 \cdot 10^9$ tonnes métriques de matière dissoute. Nous avons déjà vu que la composition de cette masse saline est déterminée par l'influence des organismes. La vie augmente la quantité des carbonates de Ca et de Si, principalement par l'action de la végétation terrestre. Mais son influence est plus profonde encore. Les rivières entraînent d'immenses quantités de matière organique en solution — probablement pas moins de $2 \cdot 10^{12}$ tonnes métriques par an, qui se forment pendant la décomposition et la transformation que la matière vivante subit après sa mort.

39. La composition moyenne des solutions salines des rivières (d'après F. Clarke, avec rectification pour la matière organique) peut être exprimée par les chiffres suivants :

*Matière organique	11
*CO ₃	31,29
*SO ₄	10,81
Cl	5,07
*NO ₃	0,81
*Ca	18,15
Mg	3,05
Na	5,15
K	1,9
*(Fe, Al) ₂ O ₃	2,44
*SiO ₂	10,33
	100

40. Dans ce tableau sont marqués par des astérisques les éléments (ou leurs groupes) dont l'histoire, sous cette forme de gisement, est en majeure partie réglée par les phénomènes de la vie. Mais les autres éléments leur sont toujours liés d'une façon directe ou indirecte. Na et Cl passent à travers les organismes sans changements, toujours ensemble, et ne sont pas retenus par ces derniers. Par contre, le potassium est absorbé par eux, ce qui fait que la relation K : Na correspond à un nombre comparativement moins grand.

Il est vrai que le potassium est aussi absorbé par les composés les — aluminosilicates — du sol, mais la formation même de ces aluminosilicates est étroitement liée aux processus biochimiques.

41. Le transport des matières organiques dans la mer par les rivières est un fait d'une importance énorme. Certaines rivières, par exemple celles des pays tropicaux ou des régions froides des toundras, riches en marais, en apportent de grandes quantités ainsi l'eau de la rivière Uruguay contient en résidus salins 59,90% de matière organique, La Plata — dans l'Amérique du Sud — 49,59%, l'Amazone — 15,03%, etc. Cette matière organique produite de la vie est accaparée dans l'océan par la matière vivante de la mer et entretient son métabolisme chimique.

L'influence de l'acide carbonique versé par les rivières dans l'océan à l'état combiné est non moins grande. C'est toujours un produit de processus biochimiques qui s'effectuent pour la plus grande part dans les couches superficielles de la terre ferme — dans les sols et les sous-sols. Nous n'escomptons habituellement pas et ne nous rendons pas compte de l'immense importance que présente le revêtement végétal des sols de la surface terrestre dans la vie et les réactions chimiques de l'océan. *Les sols et l'eau de mer sont en rapports chimiques étroits.*

Ainsi nous ne nous tromperons pas en affirmant que *la composition de l'eau de l'océan — en tant qu'elle varie sous l'action de la matière apportée — est réglée dans sa partie principale par la vie, par matière vivante, par son énergie.*

XV. LA MATIÈRE VIVANTE ET LE MÉTABOLISME DE LA MER

42. Portons maintenant nos regards vers les changements inverses de la matière saline de l'océan sous l'influence des réactions qui y ont lieu et sont liées à la formation des dépôts solides.

Nous observons dans ces dépôts des combinaisons singulières d'éléments chimiques suscitées par les propriétés des matières vivantes. Les organismes vivants qui remplissent et pénètrent l'eau de l'océan changent continuellement sa composition chimique, aussi constamment que les rivières apportent dans l'océan des substances nouvelles. Les organismes tirent de la partie brute de l'océan les éléments chimiques et les transportent dans la partie vivante sans aucun rapport avec leur solubilité dans l'eau de l'océan. Des éléments chimiques sont extraits de l'eau de l'océan par ce procès sus en relation avec les propriétés et les besoins des organismes, transformés en leurs composés. Après leur mort, l'histoire des éléments chimiques revêt un nouveau caractère. Ils donnent de nouveaux composés solides, qui ne se forment pas par l'évaporation pure de l'eau de mer. Ce sont ces produits qui caractérisent la chimie de la mer dans sa manifestation habituelle.

43. Les éléments chimiques entrent en quantités différentes dans les différents organismes de la mer, et la partie active — vivante — de l'eau de mer n'est pas chimiquement homogène.

Les organismes qui peuplent la mer se distinguent non seulement au point de vue morphologique, mais aussi au point de vue chimique. Ce fait n'est habituellement pas pris en considération. La généralisation tout hypothétique de l'unique substratum chimique de la vie, de l'unique protoplasme qui caractérise la vie et est commun aux animaux et aux plantes, règne dans la science d'aujourd'hui. Ainsi on transporte souvent, sans y être autorisé par les faits, les représentations qui découlent de la composition chimique d'une espèce quelconque d'animaux et de plantes sur tous les autres animaux et les autres plantes. Étant donnée la très petite quantité d'analyses chimiques précises de la matière vivante — dont nous disposons — il nous est très difficile de nous débrouiller dans les phénomènes. Nos connaissances de ces faits laissent beaucoup à désirer. Nous n'avons même pas d'analyses chimiques quantitatives complètes d'aucune espèce de plantes ou d'animaux.

Nous n'avons même pas d'analyses de l'homme, qui puissent être comparées aux analyses des minéraux. Nous disposons d'une quantité de faits et d'observations dans ce domaine, pour l'acquisition desquels ont été dépensés beaucoup d'énergie et de travail dans les 100 à 125 dernières années, mais ce sont des faits dispersés ; ils ne sont pas systématisés, ni embrassés par une idée dirigeante unique.

44. Cependant ce sont des faits quand même, qui nous permettent à l'heure présente d'en tirer quelques conclusions dans le domaine des phénomènes qui nous intéressent.

Nous avons dans l'océan de nombreux organismes, qui sont différents sous le rapport morphologique, exécutent des travaux chimiques distincts, tirent de l'eau de mer certains éléments chimiques dans une plus grande proportion que ne le font d'autres organismes.

Nous avons donné dans la table II la composition moyenne de la matière vivante. Elle nous démontre que seuls 2 éléments chimiques par leur poids forment plus de 10% chacun de toute la matière vivante prise au total ce sont ces mêmes éléments qui entrent dans la composition de l'eau — O et H — ; mais pour certains organismes il s'y ajoute d'autres éléments. Il existe dans les océans des organismes qui accumulent pour plus de 10% de leur poids des éléments suivants, outre O et H : Ca, Si, Fe, Mg, Ba, Sr, peut-être P, Mn, S.

Ce sont des organismes par excellence calciques, ferreux, siliciques, magnésiens, etc., dans lesquels les quantités de l'élément donné surpassent de plusieurs dizaines, centaines et milliers de fois son contenu moyen dans les organismes.

45. Mais, à part ces collecteurs particulièrement énergiques de certains éléments, il existe dans la matière vivante de la mer d'autres concentrations d'éléments dans lesquelles ces derniers se trouvent en quantités quelques dizaines de fois moindres que dans ce groupe, mais dépassent encore des centaines et milliers de fois leur concentration moyenne dans la matière vivante. Ces organismes produisent en somme dans la mer le même travail chimique, il se peut même d'un ordre identique.

De tels organismes sont connus pour les éléments chimiques suivants :
Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, I, Mn, peut être Cu et V.

46. Nous pouvons nous convaincre que ces organismes vivants, par suite d'une pareille composition chimique, changent complètement toutes les réactions chimiques de ces éléments dans la mer.

Arrêtons-nous sur deux ou trois exemples. L'océan contient une minime quantité de *silicium* en solution — n' $\sim 10^{-4}\%$. C'est une pseudo solution si faible que la silice ne peut jamais s'en dégager par des procédés purement chimiques. Et cependant l'eau des rivières qui se déverse dans l'océan est plus riche en silicium il est évident ainsi que le silicium se dégage par quelque procédé de l'eau de mer. Et en effet nous voyons qu'il se forme constamment un dépôt de silicium sur le fond de l'océan, en grande partie sous forme de différents colloïdes de la silice — des opales.

Ces dépôts sont organogènes. L'océan est rempli d'organismes siliciques — principalement microscopiques. Les algues unicellulaires prédominent parmi eux, à l'heure actuelle, en quantité et en importance; elles remplissent toutes les mers et les océans en myriades incalculables. Elles contiennent jusqu'à 20% de silicium et certaines espèces d'algues davantage. Elles absorbent d'énormes quantités de silicium ; le silicium dissous dans l'eau de mer ne leur suffit pas, — elles utilisent, par des voies à nous inconnues, le silicium qui se trouve dans la composition des infinitésimales parcelles argileuses, qui flottent dans l'eau de mer. Des dépôts de carapaces de ces Diatomées — dont la quantité d'espèces connues dépasse 2.000 — recouvrent le fond des mers de couches qui s'étendent sur des centaines de milliers de kilomètres carrés.

Les Diatomées se concentrent dans les régions de l'océan relativement froides ; leur rôle est rempli dans les dépôts tropicaux et subtropicaux par d'autres organismes siliciques, qui produisent le même travail de concentration de la silice, qu'ils tirent de l'eau de mer et transforment en un état solide et insoluble. Ce travail est accompli par des animaux microscopiques et unicellulaires — par des Radiolaires dont la quantité n'est pas plus petite et la diversité morphologique encore plus grande. Nous en connaissons plus de 5.000 espèces, si ce n'est davantage.

Les Diatomées et les Radiolaires ne sont pas les seuls concentrateurs du silicium. Il existe dans la mer de nombreux autres organismes — les *Eponges*, les *Heliozoa*, etc.

Tous les organismes se trouvent dans des rapports d'influence réciproque étroite ; en se dévorant les uns les autres, ils transportent d'un organisme à l'autre le silicium qu'ils contiennent.

Au fond presque tout organisme est un concentrateur de silicium par rapport à l'eau de mer. Les organismes sont en moyenne plus riches en silicium que l'eau de mer. En se dévorant mutuellement, les organismes font passer le silicium par un long cycle d'états différents dans la matière vivante. Le silicium finit par se concentrer dans les restes solides des organismes siliceux ou riches en silicium. Mais l'opale ainsi formée ne reste pas immobile après la mort des organismes qui la protégeaient de la dissolution, elle entre dans un milieu qui correspond à une pseudo-solution faible, non saturée, de silice. Par conséquent une partie de l'opale se dissout dans l'eau de mer et rentre de nouveau dans les organismes.

Les dépôts de Radiolaires sont connus depuis l'ère algonkienne. Les Eponges sont un peu moins anciennes, les Diatomées sont de l'ère mésozoïque. Mais à toutes les époques géologiques, sur toute la surface de notre planète, on retrouve de puissantes couches organogènes d'opales, qui finissent par se transformer en quartz. Ces opales sont formées par de faibles solutions océaniques, sous l'action des organismes : *Toute l'histoire du silicium dans l'océan est ainsi entièrement réglée par le processus de la vie.*

47. Nous observons le même fait pour les autres éléments. Il n'est pas facile de constater *l'aluminium* et le *fer* dans l'eau de mer; nous n'avons même pas de déterminations quantitatives suffisamment exactes pour eux, surtout pour l'aluminium.

Les rivières versent cependant ces derniers éléments en grandes quantités en solutions aqueuses — mais ils ne restent pas dans l'eau de mer. Ce n'est que récemment qu'on a commencé à comprendre le mécanisme de leur dégagement de l'eau de mer.

L'aluminium est capté par une quantité d'organismes marins — végétaux et animaux (p. e. certaines Ascidiées). Les Algues marines, telles que Fucus, Lamimaires, Delesseries ou des Diatomées microscopiques sont riches en aluminium. Le rôle des algues comme source d'aluminium et de soufre dans la formation des schistes alumineux avait été depuis longtemps indiqué.

Le fer se dégage de l'eau de mer sur le fond des océans et des mers sous l'influence des bactéries ferriques, s'amasse en concrétions sous forme d'hydrates d'oxyde de fer. Ces concrétions recouvrent souvent des surfaces énormes, p. e. dans nos mers du Nord, dans les mers de Barents et de Kara.

Le rôle non moins important de beaucoup de Foraminifères dans le dégagement du fer de l'eau de mer commence à s'éclaircir depuis quelque temps; ces organismes l'utilisent comme ciment dans leurs carapaces, qu'ils forment de petits grains de sable. Ce ciment est composé de différents hydrates d'oxyde de fer. Une quantité énorme de ces Foraminifères de différentes espèces s'amasse dans certaines régions de la mer et change son métabolisme. Mais le fer s'accumule aussi dans d'autres organismes en énormes quantités. Sa quantité relative dans la matière vivante dépasse en somme considérablement son pourcentage dans l'eau de mer. Il y est *concentré* par de nombreuses Algues marines, des Ascidiées, etc.

48. Mais il est probable que le rôle de la matière vivante n'est exprimé pour nul élément chimique avec plus de clarté que pour le *calcium*, métal qui prédomine sur tous les autres dans la composition moyenne de la matière vivante.

Nous avons vu que sa quantité dans la matière vivante est à peu près la même que dans l'écorce terrestre ; il se concentre dans les organismes et s'en dégage sous forme de carbonates, de phosphates, d'oxalates, etc. Ces concentrations calciques, pénétrées de matières organiques, représentent quelquefois une grande partie du poids de l'organisme vivant. On n'attribue pas toujours une importance suffisante à ces formations squelettaires, considérant que le protoplasme seul est le fondement et l'expression de la vie.

Aussi le calcium ne joue pas dans l'esprit des biologistes le rôle lui appartenant de droit en Géochimie. Il est absolument nécessaire de prendre en considération les parties squelettiques des organismes en étudiant le rôle de la matière vivante dans l'écorce terrestre. Ce sont ces squelettes et leur formation qui présentent le plus d'importance dans l'histoire d'un élément donné de l'écorce terrestre.

L'exemple suivant peut nous donner une idée de l'échelle de ce processus.

Un des groupes principaux des organismes calcaïques des océans sont les petites Algues unicellulaires appartenant au microplancton, les *Coccolithophoridae*, prenant une part exceptionnelle à la formation des calcaires depuis l'ère Cambrienne. Des myriades innombrables de ces menus organismes sont une source de vie (et de calcium) pour d'autres organismes vivants de plus grandes dimensions. Les observations faites par M. Lohmann démontrent que le tiers de toute la population des *Coccolithophoridae* des mers tropicales et subtropicales, où ils règnent sur des étendues de milliers de km. carrés, est remplacée dans le cours de 24 heures par une nouvelle génération — espace de temps suffisant *pour qu'une génération meure et une autre naisse*.

Par rapport au calcium, ce phénomène correspond à des centaines de milliers — peut-être des millions — de tonnes de ce métal qui se déplacent ainsi dans l'océan dans cette courte durée de temps.

49. Le calcium s'amasse sous la forme solide dans les océans. Les océans transforment ces composés mobiles, qui se trouvent en solutions ou dans les organismes terrestres, en des composés solides et stables. Ils l'amassent. La terre ferme perd constamment et immuablement du calcium. Les fleuves l'emportent dans la mer. En moyenne 1/6 (18,15 %) de leur matière saline consiste en calcium métallique. Ainsi $4,5 - 5 \cdot 10^8$ tonnes de calcium métallique sont annuellement versées dans l'océan. C'est une petite part du calcium qui, à chaque moment donné, se trouve en solution dans l'eau de mer et qui est égale à $5,5 - 6 \cdot 10^{14}$ tonnes (0,05% de toute l'hydrosphère).

Mais ce calcium versé dans la mer n'en augmente pas le pourcentage dans l'eau. Il entre immédiatement dans la composition de la matière vivante marine sous forme de composés solides dans les corps des organismes, et est ainsi tiré instantanément hors de la solution.

Ce ne sont pas les animaux marins qui jouent le rôle principal dans ce travail, quoique la grande quantité de calcaire qu'ils renferment nous frappe dès le premier abord sur le rivage de l'océan, à la vue des coquillages de mollusques, des os de poissons, des squelettes d'étoiles de mer et d'oursins. Malgré l'immense quantité de calcium qu'ils concentrent, ils jouent un rôle secondaire en comparaison des véritables et principaux concentrateurs du calcium dans la mer.

De tels concentrateurs sont les tout petits organismes marins qui ne nous frappent pas au premier abord. Les organismes plus gros, riches en calcium, absorbent ce dernier en se nourrissant de ces mêmes formes de vie. Nous pouvons nous faire une idée nette de leur importance en nous rendant compte que les concentrations faites par les organismes marins sont insignifiantes en comparaison avec les leurs. Ces véritables concentrateurs sont en premier lieu les organismes végétaux, — pour la plupart ceux qui décomposent CO_2 , les matières vivantes à chlorophylle, qui forme la base de toute la nature vivante.

Parmi ces animaux à chlorophylle, les plus importants paraissent être les organismes minimes du microplancton, les algues unicellulaires, Cocosphères, Rhabdosphères, dont les restes forment la plus grande partie de la craie et des calcaires. Mais des algues plus grandes comme les Lithotamnées, Nulliporées et autres jouent un bien plus grand rôle dans la formation des calcaires, particulièrement des corallogènes, qu'on ne l'avait supposé. Ce n'est que dernièrement qu'on a compris le rôle immense d'un autre groupe de végétaux des bactéries privées de chlorophylle — *Bacterium calcis* et autres — ,qui pullulent dans l'eau des mers chaudes et en plein océan. Le même travail est accompli conjointement avec ces végétaux par les animaux les innombrables Foraminifères du plancton et du benthos qui naissent et périssent dans la durée d'un instant, les colonies des coraux, d'Anthozoa qui construisent des îles et des riffs. Il faut y joindre toute la masse d'organismes riches en squelettes, bien connus de quiconque a vu la mer.

50. Il est possible d'évaluer l'immense travail de formation de CaCO_3 , accompli par cette matière vivante. Non moins de $1,4 \cdot 10^9$ tonnes métriques de calcium sont déposées annuellement de la mer sous forme de calcaires. Mais cela ne représente pas tout le travail accompli par la matière vivante, car une partie de ce CaCO_3 (ou un autre sel de Ca) se dissout de nouveau et est ensuite entraînée dans le tourbillon de la vie.

Ce nombre de $1,4 \cdot 10^9$ (d'après F. Clarke qui a corrigé les évaluations plus anciennes de Read,

J. Murray et autres) est presque identique à la quantité de calcium versée annuellement par les rivières dans la mer $5,5 \cdot 10^8$ tonnes.

Cette quantité est même plus grande. Il est évident que la mer a d'autres sources de calcium, car elle le dépose aussi sous forme de phosphates, en petite quantité — il est vrai — en comparaison des dépôts de carbonate de calcium.

Il est évident que les quantités de l'apport et de la perte du calcium sont du même ordre. La supposition que ces quantités sont égales ou presque égales ne peut être considérée comme trop hardie. Nous constatons ici un cycle déterminé. Le travail qui y est exprimé est étroitement lié à la matière vivante, en dernier lieu à l'énergie radiante du Soleil. *Il est clair qu'il dépend d'une quantité déterminée de vie dans la mer.*

51. Quelque élément que nous prenions en considération, nous voyons partout le même tableau la matière vivante, la vie sont partout les agents principaux, qui créent la chimie de la mer. Nous l'avons constaté pour Si, Fe, Al, Ca ; mais cela est aussi exact pour C, N, O, P, S, I, B, Mg, Mn, K, etc. Ainsi se révèle à nous le singulier mécanisme du liquide qui forme la seconde enveloppe de notre planète de l'hydrosphère. Nous avons signalé deux parties en cette hydrosphère la partie inerte, brute, et la partie vivante, active. C'est la partie active, prise en entier, qui crée tous les processus chimiques, dont nous pouvons étudier les lois dans l'Océanographie chimique.

52. Il faut se rendre compte que ce travail de la matière vivante à notre époque géologique commence à se transformer et à revêtir des 'formes inconnues aux époques géologiques antérieures, au cours desquelles la chimie de la mer était cependant en traits généraux identique à celle d'aujourd'hui.

Un nouvel agent, qui n'existait pas auparavant, commence à transformer la chimie de la mer. Cet agent est l'*humanité civilisée*, sa technique mondiale devenue organisée et universelle. Son influence se fait sentir actuellement dans l'histoire de l'azote et du carbone. Elle deviendra chaque jour plus grande. Les lois du développement de la culture de l'humanité ont un rapport étroit avec les immenses phénomènes de la nature que la Géochimie nous découvre et ne peuvent être considérées comme effets du hasard. Leur direction vers la conquête future des forces de la nature et vers leur élaboration par la conscience, par la pensée, est déterminée par la marche de l'histoire de notre planète et ne dépend pas de notre volonté. Cette direction ne peut être modifiée par les phénomènes tristes, pénibles et passagers, qui, décomposant la vie, aboutissent à une extermination mutuelle, à la misère, aux horreurs de la famine, par lesquelles nous passons actuellement. C'est l'avenir qui évaluera ce travail de l'humanité et sera le témoin de son épanouissement.

XVI. POSITION ACTUELLE DE L'OCÉANOGRAPHIE CHIMIQUE

53. Je pourrais terminer ici, mais je veux ajouter quelques mots sur la position actuelle de cette branche de la science, et sur l'absence d'un travail organisé et énergique, qu'on y observe. Une telle situation ne peut durer, car les problèmes liés à l'Océanographie chimique — scientifiques et pratiques — présentent une trop grande importance.

Il faut avant tout résoudre le problème principal. Nous ne connaissons ni la composition élémentaire de l'hydrosphère (en entier), ni la composition de sa part active — de la matière vivante marine. Ces données doivent être acquises en premier lieu, car elles doivent servir de base à tout notre prochain travail d'investigation.

Nous ne connaissons pas au juste la composition chimique de l'eau de mer. Nous n'avons pas d'analyses systématiques de ses éléments plus rares, alors qu'il serait tout à fait possible et urgent de le faire. Car cette quantité, qui paraît très peu variable, constitue une des constantes les plus importantes de notre planète, qui nous permettra d'acquérir une notion précise de la chimie de l'écorce terrestre.

Il faut soumettre à un nouvel examen le schéma de la composition de l'eau de mer qui est acceptée actuellement. Elle est basée en fin de compte sur les' données de Dittmar et de Buchanan, chimistes de la célèbre expédition du *Challenger*. Ces travaux, dont les défauts étaient déjà évidents à cette époque, — 1880, — doivent être remplacés par de nouvelles recherches.

Nos données sur K, Na, Cl, Br dans l'océan sont évidemment erronées. Le chiffre K Cl H de la Commission internationale pour l'investigation de la mer ne correspond pas au chlore des chimistes. Br, dont il n'existe presque aucune détermination directe et précise, y est aussi inclus. Les déterminations du potassium ne sont pas nombreuses et comprennent aussi Rb. Et c'est à peine si nous avons quelques analyses directes et précises du sodium.

54. Enfin, nous n'avons pas d'analyses de l'eau de mer dans son état naturel, avec tout son contenu, et n'avons que des analyses d'eau artificielle, dont le composant actif, vivant, a été en grande partie retiré. J'ai déjà parlé de cela et ne me répéterai pas.

Les analyses de la *matière vivante* marine, du composant chimique actif de l'eau de mer, laissent beaucoup à désirer. *Il faut tout recommencer à neuf. Il n'existe aucune analyse précise pour aucune matière vivante.* Or l'importance de ces analyses a été démontrée plus haut.

Ce travail ne peut être accompli que d'une manière collective. Il dépasse les forces d'un seul homme. Il ne sera accompli que quand la conscience de sa nécessité pénétrera les esprits des travailleurs scientifiques.

Je considérerai avoir atteint le but de ma conférence, si j'ai réussi à porter l'attention sur ces problèmes urgents de méthodes.

V. Vernadsky

Membre de l'Académie des Sciences de Pétrograd.