

Vladimir Vernadsky

**De quelques manifestations
géochimiques de la vie**

Vernadsky.fr

Vive le matérialisme dialectique !

1. Les théories récentes relatives à la structure des atomes et à la constitution des réseaux atomiques des corps solides, appuyées par l'ensemble des faits empiriques, ainsi que les généralisations empiriques de la Géochimie, doivent, me semble-t-il, retentir profondément sur notre conception de la vie.

Si à l'heure présente le biologiste n'en tient presque aucun compte, cet état d'esprit ne peut durer longtemps.

Je ne m'arrêterai, dans cette courte notice, que sur un des problèmes multiples qui se posent dans le domaine de la Biologie par suite des progrès des sciences physiques et géologiques.

2. Les atomes des éléments chimiques de la matière vivante (1) sont-ils toujours identiques à ceux qui se manifestent dans les phénomènes de la matière brute ? La matière vivante n'a-t-elle pas les moyens de faire un choix parmi les isotopes des éléments chimiques dont elle trouve les mélanges dans le milieu ambiant avec lequel elle est indissolublement (2) liée ? Jusqu'à, présent nous n'avons pas d'indications empiriques relatives à la réponse possible à ces questions. Et en même temps ces questions ne pouvaient être résolues que par un travail organisé qui dépasse les forces d'un chercheur isolé et exige de grands moyens (3).

Des faits nouveaux, établis récemment par des études qui semblaient complètement étrangères aux problèmes biologiques, font penser que *la vie peut agir sur la symétrie des atomes*, c'est-à-dire que les atomes qui entrent dans la composition de la matière vivante peuvent présenter des propriétés et des mélanges isotopiques différents de ceux qui construisent la matière brute.

3. En 1924, on a réussi presque simultanément et indépendamment en trois pays - en Allemagne (4) en Angleterre (5) et en France (6) - à établir le réseau cristallin du graphite. Tous les chercheurs sont arrivés aux mêmes conclusions et presque aux mêmes résultats numériques. Ainsi la représentation de ce réseau ne peut plus évoquer aucun doute.

Par ce fait, la conception théorique déjà ancienne de la différence de « forme » des atomes du carbone dans le diamant et dans le graphite reçut un appui empirique puissant.

Et cette conséquence a été immédiatement indiquée par M. W. Bragg (7) et M. J. Barnal.

Il est préférable dans les études de ce genre de parler non des formes polyédriques des atomes, mais de leur *symétrie*. Cette dernière notion beaucoup plus générale est parfaitement suffisante pour embrasser toutes les conséquences que nous pouvons déduire des faits observés. Et en même temps elle est tout à fait indépendante des modèles par lesquels nous (10) présentons la matière et le milieu ambiant en général.

4. Il est ainsi non seulement possible, mais nécessaire de distinguer parmi les atomes de carbone les atomes de deux symétries différentes. Ce sont d'une part les *atomes diamantins* aux quatre valences identiques ces dernières correspondent dans l'espace aux vecteurs qui embrassent les atomes à distances minimales possibles dans le réseau du diamant. Les atomes diamantins ont la symétrie du tétraèdre et les vecteurs aux atomes les plus serrés n'existent dans les plans de l'espace qu'en deux directions.

Par contre les *atomes graphitiques* sont caractérisés par un axe de symétrie unique du 3^e ou 6^e ordre il existe des plans dans l'espace dans lesquels les vecteurs aux atomes les plus serrés se trouvent au nombre de trois.

Les distances minimales entre ces atomes sont voisines, mais différentes pour les atomes diamantins $1,54 \times 10^{-8}$ cm. et pour les atomes graphitiques $1,45 \times 10^{-8}$ cm.

5. Ces deux ordres d'atomes existent non seulement dans les structures du carbone libre on les retrouve dans ses composés.

Les atomes diamantins correspondent au carbone des composés aliphatiques, les atomes graphitiques au carbone des composés aromatiques.

Certes une représentation pareille est probablement trop simpliste; le phénomène naturel est plus complexe. On peut

le déduire avec une grande vraisemblance de ce fait, par exemple, que la division des composés organiques en deux grandes classes - les composés aliphatiques et les composés aromatiques - ne peut pas être appliquée avec la même certitude, à tout l'ensemble des composés connus il existe des corps à composition mixte et à noyaux de carbone qui peut-être indiquent pour leurs atomes une nouvelle structure, une autre symétrie. On trouve même des indications de l'existence d'atomes du carbone d'une autre valence que celle des composés aliphatiques et aromatiques.

Mais l'existence réelle ou possible de ces corps à atome de carbone d'une autre symétrie n'entrave en rien l'exactitude de nos déductions : les corps aliphatiques et aromatiques existent, leurs propriétés sont les mieux connues, et c'est parmi ces corps qu'on retrouve les produits les plus répandus de la matière vivante et de la matière brute de l'écorce terrestre.

6. En suivant les déductions des chimistes exprimées quelques dizaines d'années avant (8) la grande découverte des roentgénoigrammes des cristaux faite par M. Von Laue, P. Von Groth, P. Knipping et W. Friedrich (1912), W. Bragg (1931) a essayé de trouver les assemblages des atomes graphitiques, - caractéristiques du graphite, - dans les cristaux des composés aromatiques et il a parfaitement réussi dans les cas qu'il a pu étudier. Les travaux ultérieurs amenèrent de nouvelles preuves à l'appui de cette représentation (9).

Certes dans les réseaux de ces composés, qui appartiennent aux systèmes cristallins biaxes, dont l'étude par les rayons X présente des difficultés non encore résolues, tout n'est pas encore clair. Mais la possibilité d'entreprendre avec succès l'étude des cristaux biaxes de ces composés complexes prouve la grande valeur logique de cette déduction prise comme base. Les expériences de M. W. Bragg indiquent certainement dans les composés aromatiques étudiés l'existence d'atomes de carbone de la même symétrie que celle des atomes graphitiques.

7. En même temps les conceptions des chimistes relatives à la structure des corps aliphatiques correspondent parfaitement à la symétrie des atomes diamantins.

Le carbone à valence tétraédrique des chimistes est le carbone diamantin.

L'ensemble imposant des faits empiriques dont dispose la stéréochimie est en parfait accord avec la symétrie de ces atomes.

8. Ces nouvelles acquisitions ont nécessairement eu une répercussion dans le domaine de la Géochimie.

Dans quelles conditions se manifestent dans l'écorce terrestre les atomes diamantins et les atomes graphitiques?

Il se dégage de cette étude un fait curieux. Il semble que les composés avec atomes diamantins ne se forment dans l'écorce terrestre que dans *deux* régions très distinctes (10) : 1° dans les champs thermodynamiques de l'écorce à une grande pression et à une température comparativement élevée; 2° dans la matière vivante de la biosphère.

9. Il n'existe que très peu de minéraux qui correspondent aux atomes diamantins; le diamant est à ce point de vue le plus étudié.

Le diamant n'appartient certainement pas au champ thermodynamique du carbone, à la pression ordinaire : c'est le graphite qui y est stable. Le diamant se forme dans l'écorce dans des gisements d'origine différente, toujours en relation avec les magmas, cependant pas toujours à une température très élevée. Mais tout indique que sa genèse est toujours liée à une pression formidable.

Il est certain qu'il se dégage dans les magmas profonds basiques. On évalue cette profondeur à 20-30 kilomètres, ce qui correspond à des pressions de 6.000-9.000 kg. sur 1 cm². La température ne semble pas dépasser 1.000-1.200° C.11.

Moins claire est sa genèse en relation avec le facies pegmatique des roches granitiques. La température de sa formation dans ces conditions ne peut pas dépasser 570° C. et certainement doit être de quelques centaines de degrés plus basse. Ce sont cependant des réactions pneumatolithiques, liées toujours à de grandes pressions.

Dans ces conditions, les atomes graphitiques du carbone doivent reprendre la symétrie des atomes diamantins, stables dans ces champs thermodynamiques.

10. Parmi les composés des atomes diamantins, on rencontre encore dans ces champs de l'écorce terrestre l'acide carbonique et ses dérivés, le méthane, l'acide et l'aldéhyde formiques.

Tous ces composés ne se forment sans liaison avec la matière vivante que dans les régions profondes de l'écorce et pendant les réactions gazeuses, liées à une haute température et à une grande pression. (12)
Ils se forment à température et pression basses, ordinaires en biosphère dans la matière vivante, ou par le métamorphisme des produits de la vie dans les enveloppes terrestres plus profondes.

11. En général, tous les autres composés - minéraux - carboniques ne se forment dans l'écorce terrestre qu'en relation génétique directe ou indirecte avec la vie, la matière vivante; ce sont toujours des dérivés de processus biochimiques ou des produits de leur altération.

Tous ces corps carboniques - tôt ou tard - se transforment dans l'écorce terrestre en graphite ou en acide carbonique et ses dérivés.

Mais il semble que seul le graphite à état dispersé (carbone amorphe) ou disposé en réseaux cristallins soit la forme la plus stable des manifestations du carbone non seulement dans la biosphère, mais dans la partie supérieure de l'écorce terrestre en général. *Dans ces régions le champ thermodynamique de la matière brute est un champ de stabilité pour les atomes graphitiques.*

Si la matière vivante n'existait pas et n'entraînait pas incessamment dans les équilibres cycliques qui caractérisent la chimie de l'écorce, les atomes graphitiques seraient seuls à exister, car la formation de l'acide carbonique est une conséquence de l'existence de l'oxygène libre, qui ne se forma que dans la biosphère et est toujours un produit direct du processus vital. (13)

12. Toute autre est l'histoire des atomes du carbone dans la *matière vivante* de la biosphère. Des composés carboniques innombrables s'y forment et s'y transforment. *Les atomes diamantins y sont stables; s'ils reprennent incessamment la symétrie des atomes graphitiques, le processus inverse est non moins commun, et les atomes diamantins prédominent toujours.*

Ainsi notre champ thermodynamique possède des propriétés diverses dans la matière vivante et dans la matière brute.

Les atomes diamantins, qui ne se forment pas dans ce champ dans la matière brute, trouvent des conditions propices d'existence dans le même champ de la matière vivante.

13. La cause de ce phénomène ne peut être cherchée que dans l'action de la matière vivante. Nous savons depuis longtemps que la matière vivante possède des moyens puissants pour changer complètement le champ thermodynamique de la biosphère par rapport aux réactions chimiques qui y ont lieu.

En se servant de l'énergie rayonnante du Soleil, au moyen d'un mécanisme qui nous est incompréhensible jusqu'à présent dans son essence (14), c'est la matière vivante qui produit à notre température et à notre pression des changements chimiques qui, dans nos laboratoires ou dans les régions privées de vie de notre planète, ne se produisent qu'à des pressions énormes ou à des températures élevées.

14. La stabilité et la genèse des atomes diamantins du carbone dans la matière vivante rentrent dans le cadre connu des multiples processus biochimiques qui ont lieu à chaque pas dans l'organisme.

C'est une nouvelle expression du grand phénomène de l'histoire de la biosphère.

Toute sa chimie est changée par la propriété que possède la matière vivante de briser complètement, à température et pression basses, les molécules de l'eau, de l'acide carbonique et des alumosilicates à noyaux kaoliniques (15). En dehors de la matière vivante, ces corps ne se décomposent que dans des régions de l'écorce à des températures ou à des pressions élevées.

L'action de la matière vivante sur la symétrie des atomes de carbone indique que son influence géochimique est encore plus vaste que nous ne l'avions pensé.

15. Car cette nouvelle manifestation de la vie est encore plus profonde, est d'un ordre nouveau.

Cette action se révèle non dans le domaine moléculaire du milieu, mais dans le milieu atomique même (16).

Par l'influence qu'exerce la vie sur la symétrie des atomes, la matière vivante change toutes les propriétés de la matière; elle se prépare elle-même un milieu « cosmique » tout nouveau, en prenant cette notion dans le sens que lui a prêté Cl. Bernard (17).

16. Jusqu'où peut s'étendre cette action ? Se manifeste-t-elle exclusivement dans le domaine des atomes du carbone ?

Il est très peu probable que cela soit ainsi.

Par analogie (qui semble dans ce cas très solide) avec les phénomènes biochimiques, on doit s'attendre à y trouver l'expression d'un phénomène général.

Logiquement, on a le droit de penser que l'action de la vie sur la symétrie des atomes peut s'étendre sur les autres éléments chimiques biogènes.

Dans ce cas ce serait un fait général de la manifestation de la vie

17. Il s'ensuit que le problème de son action sur les isotopes et leurs mélanges dans la matière brute devient urgent.

Certes les atomes diamantins et les atomes graphitiques ne sont pas des isotopes du carbone. Mais ils appartiennent au même ordre de phénomènes.

On peut dès à présent distinguer au moins trois modifications différentes des atomes d'un même élément chimique. 1° les *isotopes* qui ont le même nombre atomique, mais se distinguent par leur symétrie et leur poids atomique; 2° les *isobares*, qui ont le même poids atomique, mais se distinguent par leur symétrie et leur nombre atomique (18) ; 3° les modifications plus délicates (19), qui ne se distinguent que par leur symétrie, mais dont le poids et le nombre, atomiques restent les mêmes.

18. Nous voyons surgir toujours plus fréquemment dans ce monde infini des atomes des indications sur l'existence de ces modifications isotopobariques d'un genre nouveau.

Elles peuvent être passagères ou stables, comme dans le cas du carbone, mais elles correspondent certainement aux propriétés profondes et importantes des atomes.

Les deux modifications des atomes de rhélium présentent un des cas les plus célèbres (20).

Il est possible que ces modifications appartiennent à des classes différentes, mais ce qui nous intéresse dans le problème présent c'est leur existence, qui n'est pas douteuse.

On peut représenter ces systèmes de manières différentes. On peut étudier leur statique et parler de leur *symétrie* mais

on peut aussi les exprimer sous forme de modèles dynamiques. En suivant la voie ouverte par MM. E. Rutherford et N. Bohr, on donne cette dernière représentation aux modifications de l'hélium. M. Bernai, dans le mémoire cité, essaie d'exprimer de la même manière les atomes graphitiques.

19. Les isotopes, surtout, attirent actuellement l'attention des savants. Ce sont les modifications les plus connues. On peut quelquefois les obtenir en masses pondérables. Nous possédons tous les moyens de les distinguer exactement.

Leur histoire dans la matière vivante est complètement inconnue. Cependant il n'existe pas d'obstacles sérieux pour cette étude il ne s'agit que d'une organisation du travail scientifique - question de temps et de moyens.

Et qui sait quels horizons une étude pareille peut nous ouvrir, quelles conséquences elle peut avoir pour le salut et la puissance humaine ?

Au point de vue de la science, un résultat même négatif aurait une grande importance, car il nous permettrait de préciser plus exactement les manifestations de la vie.

V. Vernadsky

Notes

1. V. VERNADSKY: *la Géochimie*, 1924, p.54 (Alcan)
2. V. VERNADSKY: *l.c.*, 1924, p. 44
3. *Ce but ne peut être posé que dans de grands laboratoires, dont l'humanité ne dispose, avec notre organisation sociale si insuffisante pour le progrès de la science, qu'en très petit nombre. En 1924, j'ai proposé ce problème comme urgent à l'un de ces grands organismes l'Institut Rockefeller à Rochester.*
4. O. HASSEL et H. MARK : *Zeitschr.f.Phys.*, 1924, t.XXV, p.317.
5. J. BARNAL : *Proceed of R. Soc., A*, 1924, t.CVI, p.749
6. *Communication de M. Ch. MAUGUIN à la société Française de Minéralogie*, 1924.
7. W. BRAGG : *Nature*, 1924, t. CXIV, p. 863.
8. *Les aperçus de ce problème par les chimistes, faits avant 1912 sont aujourd'hui historiquement très intéressants. Voir par exemple WOINICZ-SIANOZECKI dans le Bulletin de l'Institut Polytechnique de Kiev, 1910 (Izvesti ja Polyt. Inst. - en russe)*
9. W. BRAGG : *Proceed of R.Soc., A*, 1921, t. XXXIV, p.33; *Nature*, 1924, p.863
10. *On doit toujours tenir compte du fait que cette généralisation est purement empirique et qu'il existe des lacunes dans nos connaissances sur la géochimie et la minéralogie du carbone. Cf. V. Vernadsky l.c., 1924, p.33*
11. *Cf G. TAMMANN: Zeitschrift f. anorgan. Chemie*, 1921, t.CXV, p.155. L. DUPARC et P. KOVALEFF : *Comptes Rendus des séances de la Soc. de phys. de Genève*, 1924, t. XLI, p.108
12. V. VERNADSKY : *l.c.*, 1924, p.225 s., 231s.
13. V. VERNADSKY : *l.c.*, 1924, p.48, 329.
14. *Tout indique qu'il ne s'y agit pas d'une forme d'énergie nouvelle. Et en même temps la matière vivante dans ses manifestations les plus diverses - par exemple par l'entendement, la volonté, la conscience humaines - change puissamment le cours des phénomènes naturels énergétiques.*
15. V. VERNADSKY: *l.c.*, 1924, p. 203.
16. *Il devient de plus en plus probable, cependant, que dans la grande généralisation de Pasteur sur l'influence qu'exercent les organismes dans la production des structures chimiques asymétriques on doit voir un phénomène du même ordre. Il s'agit ici de la symétrie du champ des électrons et des atomes et non des phénomènes moléculaires. (Cf. F. JAEGER : Lectures on the principle of symmetry, 2éd., A, 1920, p.111, Bulletin de la Soc. de Chim (4), 1923, t. XXXIII, p. 887.)*
17. C. Bernard: *Leçons sur les phénomènes de la vie*, 1878, t.I, p.675.
18. F.Aston : *Les isotopes. (Tr. par Mlle Veil). 1923, p.14, pos.*
19. *On peut les appeler isobarotopes*
20. J. MAC LENNAN et E. RUTHERFOOD, dans leurs adresses à la British Association for advancement of Science de 1923 (p.13, 18-20)