

E-REPRINT

Bulletin de la Classe des Sciences, Académie Royale de Belgique, 6e serie, Tome VI,
No.7-12, 1995, 13 pages.

SUR LA NOTION ET LE DOMAINE DE LA VIE ARTIFICIELLE

par **Mihai DRAGANESCU**
Membre de [l'Académie Roumaine](#)

P L A N

1. Introduction
2. Sur la nature de la vie et de la conscience
3. Les trajectoires de la science
4. La vie artificielle et la biologie théorique
5. La vie artificielle vivante et la biologie théorique structurale-
phénoménologique

1. INTRODUCTION

C'est difficile de parler sur la vie artificielle avant de connaître la nature de la vie.

Le domaine de la vie artificielle se base seulement sur une théorie de la vie, justifiée en partie, par la connaissance des aspects structuraux des organismes, mais pas satisfaisante dans sa totalité en rapport avec la réalité du vivant.

La nature de la vie n'est pas encore connue. La physique ne peut pas l'expliquer avec les connaissances classiques, modernes et contemporaines. La biologie, aussi. C'est un défi à la science vers la fin du XX-e et le commencement du XXI-e siècles.

La science contemporaine se base sur un modèle ontologique du monde de type structural. La méthodologie scientifique utilise, par conséquence, le couple mathématique-expérimentation.

Dans le cadre de ce modèle et de cette méthodologie c'est explicable que des hommes de science ont pensé qu'on peut obtenir une définition mathématique de la vie. En suivant des idées avancées par John von Neumann [1] concernant une formulation mathématique des concepts fondamentaux de la biologie, Gregory J. Chaitin, le principal auteur de la théorie algorithmique de l'information, publie deux travaux (1970,1979) [2][3] sur la définition mathématique de la vie. Il constate que le concept de vie est très général et il doit être considéré sans impliquer les détails de la chimie quantique. En conséquence il trouve que pour la vie, plus importante que la structure physique concrète c'est l'organisation. Et l'organisation pour lui, représente les interactions qui sont très complexes dans le cas de la vie. Il ajoute encore le rôle du contenu informationnel qui peut être exprimé dans le cadre de la théorie algorithmique de l'information.

L'organisation, dans sa conception, est une structure; l'information, par la théorie algorithmique, est aussi structurale. Et tous les deux, en étant structurales, peuvent être décrites par la mathématique. Si la vie dépend seulement de structures, par conséquent, elle peut être décrite par la mathématique et une théorie mathématique de la vie devient un objectif nécessaire. Cette théorie doit aussi envelopper l'évolution comme donnée fondamentale de la vie. Chaitin écrit: "If mathematics can be made out of Darwin, then we will have added something basic to mathematics; while if it cannot, then Darwin must be wrong, and life remains a miracle which has not been explained by science." [4]

C'est très difficile de combattre la position du Chaitin si on accepte le modèle structural de la réalité et on refuse tout autre modèle. Sous la science structurale, sans une théorie mathématique de la vie, celle-ci resterait, sans explication scientifique, plutôt un miracle.

Mais, si on utilise l'informatique, qui est aussi une forme de mathématique, on pourrait arriver à une théorie informatique de la vie, qui est plus facile à manipuler,

c'est à dire à un programme informatique fonctionnant sur un ordinateur bien choisi pour obtenir le phénomène de la vie lui-même. Ici on trouve, en essence, le point de départ de l'idée de la Vie Artificielle. On espère qu'un programme (structural et discret) fonctionnant sur une structure physique (aussi discrète) aura le comportement du vivant.

Il n'y a aucune raison scientifique, aucune axiome (sauf apportée par un point de vue philosophique qui veut tirer le vivant seulement du structural) même de la science structurale rigoureuse, d'ailleurs une grande conquête de l'esprit humain, qui nous assure cette réussite. Mais il faut, peut être, attendre l'avancement des théories structurales et aussi de nombreuses expérimentations, de plus en plus coûteuses, pour mieux déceler l'insuffisance de l'approche purement structurale dans la science de la vie et, en général, dans la science.

Mais, on peut proposer un autre point de vue pour faire progresser la science dans les domaines de la vie et de la conscience. Ou, on peut penser qu'il n'y a plus de place pour d'autres modèles ontologiques pour faire avancer nos connaissances dans ces domaines. Sans la possibilité de bâtir une autre science, nous serons obligés de reconnaître que la science structurale, comme la seule science possible, est incapable de les expliquer.

2. SUR LA NATURE DE LA VIE ET DE LA CONSCIENCE

On ne peut pas réduire la vie aux structures existentes connues par la science. Niels Bohr (1885-1962) affirmait de ce point de vue: "the very existence of life must be considered an elementary fact, just as in atomic physics the existence of a quantum of action has to be taken as a basic fact that cannot be derived from ordinary mechanical physics" [5]. Et aussi: "the fact that consciousness, as we know it, is inseparably connected with life ought to prepare us for finding that the very problem of the distinction between the living and the dead escapes comprehension in the ordinary sense of the word [6]."

Même aujourd'hui on oublie trop souvent que la vie ne peut être pas comprise sans prendre en considération la conscience associée à la vie. Niels Bohr pensait que la vie utilise quelque chose de nouveau, quelque chose fondamental que nous ne trouvons pas dans la physique actuelle, y compris la mécanique quantique, mais qui doit, quand même, exister dans la réalité.

L'affirmation reste valable aussi pour la biologie, y compris la biologie moléculaire. Il y a quelque chose de fondamental dans la nature que la biologie n'a pas réussi à comprendre ou à mettre en évidence. En général, la science actuelle, en totalité, n'a pas réussi à expliquer la différence entre la matière vivante et la matière non-vivante.

La liaison entre le phénomène de la vie et de la conscience du vivant nous montre que le même principe fondamental pourrait expliquer tous les deux. Mais ce "nouveau" principe fondamental pourrait être aussi utilisé par la matière non-vivante et seulement des différences d'organisation, de ce principe, négligé jusqu'à présent, avec les autres principes déjà connus, pourraient expliquer le vivant et le non-vivant. Il suffit donc, de reconnaître (dans notre modèle de la réalité), au moins, un seul principe supplémentaire!

Ce principe dépasse la structuralité et ne peut pas être compris par la science structurale d'aujourd'hui, autrement il aurait été découvert par cette science. Mais la science structurale n'a pas des yeux pour ce principe, elle n'a pas pu le mesurer et le déterminer par la méthode expérimentale classique. C'est très probable qu'il a une nature tout à fait particulière. Mais on ne peut pas avoir des doutes qu'il n'existerait pas.

Quelle serait la nature de ce principe?

Le biologiste et l'embryologiste C.H.Waddington dans son livre consacré à la nature de la vie [7], constate, même après la découverte de la structure moléculaire de l' A.D.N.:

"...these recent developments of genetical theory are a wonderful example of the power of atomistic approach....But even in this field of genetics atomicity is not the whole story. There are other aspects of the phenomena we are examining which require something more like a continuum approach [8]."

Vraiment, la clef de la relation entre le discontinu et le continu se trouve dans la matière vivante. Cette clef ne reste pas ici, mais pénètre jusqu'au coeur du principe naturel qui dépasse la structuralité [9][10]. Ce principe ne peut pas être quelque chose supplémentaire seulement pour la matière vivante, pour faire la différence de la matière non-vivante, autrement il serait un principe vitaliste et on ne peut pas retourner vers des étapes de pensées complètement dépassées. Ce principe doit appartenir à l'existence tout entière.

L'universalité ontologique de ce principe, qui doit participer à la nature profonde de l'existence, de la substance non-vivante, du vivant et de la conscience vivante, montre la possibilité de le deviner par un effort scientifique (je voudrais le nommer reconnaissance phénoménologique) quand on veut comprendre la conscience

consciente qui nous est assez accessible en nous même. On peut faire de mieux, de reconnaître un phénomène à l'intérieur de cette conscience, voir de l'esprit humain, qui serait la manifestation du principe que nous cherchons.

Waddington avait raison d'écrire sur les difficultés de connaître la conscience:

"...at the present time, simply because we have no way of interpreting self-awareness in terms of anything else [11]." [il considère que], "Awareness can never be constructed theoretically out of our present fundamental scientific concepts, since these contain no element which has any similarity in kind with self-consciousness [12]."

Et il arrive à cette question:

"Are we not forced to conclude that even in the simplest inanimate things there is something which belongs to the same realm of being as self-awareness? [13]"

Voilà des idées exprimées en 1961 et qui restent de toute actualité. En 1994, la question est encore présente. Dans "Scientific American", juillet 1994, on publie un article de synthèse sur la possibilité de la science d'étudier et d'expliquer la conscience et de faire de la conscience un sujet de la science [14]. On présente des divers points de vue, même la possibilité que la science ne pourrait jamais expliquer la conscience. En coupant la conscience de la nature du vivant c'est très difficile de trouver des solutions scientifiques d'une grande généralité.

Mais seulement sur le chemin de grandes généralités c'est possible de trouver la solution des problèmes qui nous défient.

3. LES TRAJECTOIRES DE LA SCIENCE

Entre les années 1979-1993, j'avais proposé un modèle ontologique de l'existence [15] qui comprend, du point de vue qui nous intéresse ici, un nouveau principe fondamental, l'informatière, dans laquelle on développe de soi ou sous l'influence d'une structure avec laquelle elle est couplée, comme c'est le cas dans un organisme, des sens phénoménologiques (les sens mentaux sont des sens phénoménologiques). L'informatière est aussi conçue comme partie composante de la substance non-vivante, d'une manière expliquée dans les travaux mentionnés ci-dessus.

La science structurale ne peut pas envisager l'existence de l'informatière et du sens phénoménologique. Il faut donc passer à une science structurale-phénoménologique qui introduit des nouveaux principes et même ajoute des nouvelles méthodes à la méthodologie de la science.

La preuve de l'existence de l'informatière et des sens phénoménologiques implique une méthode de la reconnaissance phénoménologique, qui se base sur une multiplicité de facteurs (les limites de la science structurale, la connaissance sûre de ce qu'il y a en dehors de ces limites, la pensée philosophique, le vécu, la raison, la pensée logique sur tous ces faits etc.) La méthode de la reconnaissance phénoménologique est un type d'expérimentation philosophique qui peut assurer une base expérimentale nouvelle tant pour la philosophie que pour la science.

Dans la figure 1, on présente les deux grands chemins de la science après la période de la science structurale classique et moderne:

- une science structurale contemporaine, qui avec la science classique et moderne, forment la science structurale totale, atteinte d'un principe fondamental d'insuffisance [16];
- une science structurale-phénoménologique en cours de gestation, envisagée par beaucoup hommes de science sous des formes peut être différentes, mais avec les mêmes racines phénoménologiques.

Après cette période de transition (fig.1) deux possibilités restent encore:

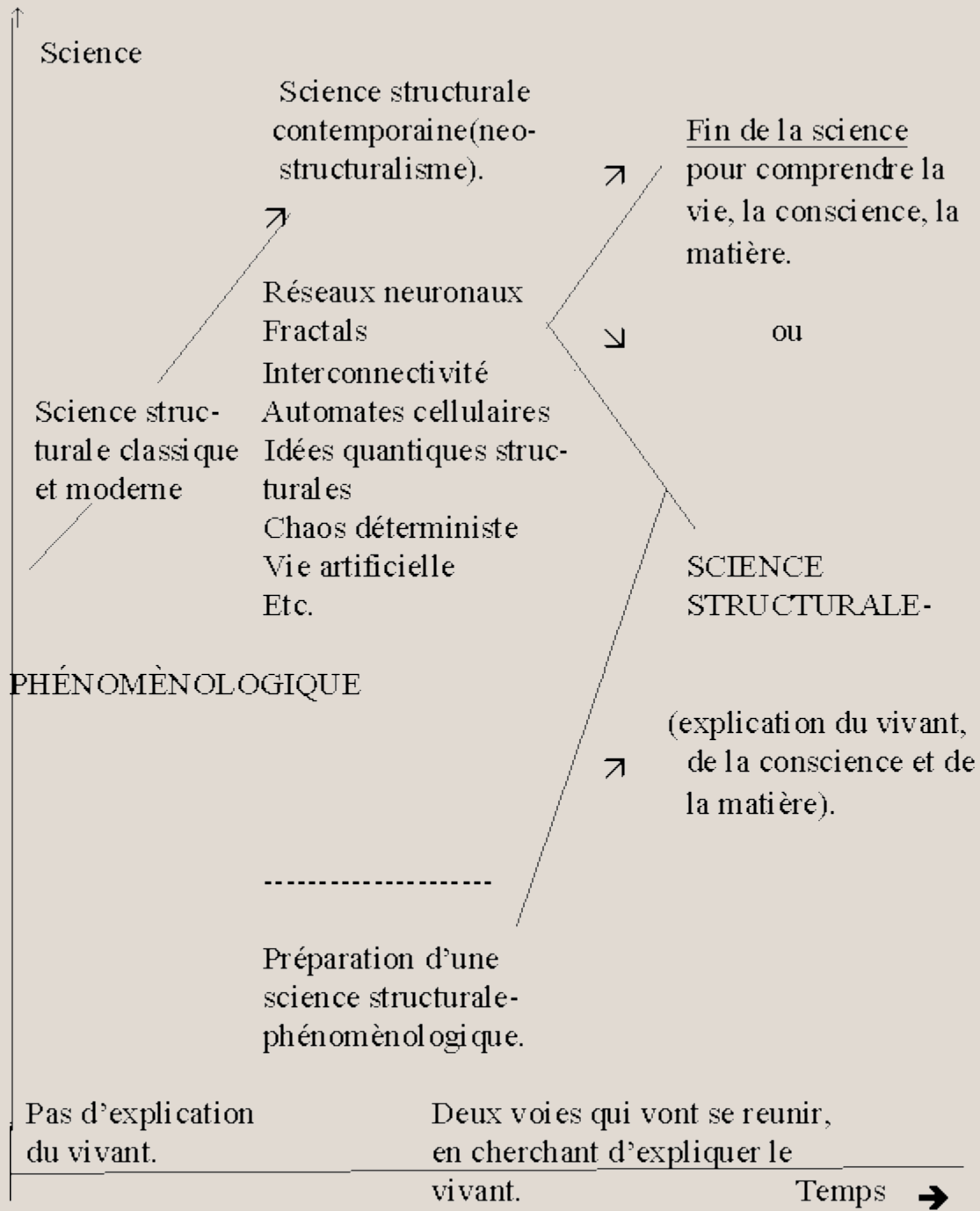


FIGURE 1 .

- soit la "solution" phénoménologique n'est pas confirmée et dans ce cas c'est la fin de la science, car elle n'aura pas la possibilité d'expliquer la vie, la conscience, la matière, l'existence (la science restera une science structurale superficielle);

- soit la science structurale-phénoménologique s'avère bien fondée et capable d'expliquer l'existence dans toutes ses profondeurs et ses manifestations dans l'univers.

La science structurale-phénoménologique n'élimine pas la partie structurale de la science. Elle l'englobe. Mais en même temps elle apportera un changement révolutionnaire dans la science. Il faut dire que tout devient si simple et naturel pour reconnaître l'informatique et les sens phénoménologiques comme principes fondamentaux de la réalité. Mais ces nouveaux principes obligent beaucoup, car ils changent la vision du monde et le développement de la science.

4. LA VIE ARTIFICIELLE ET LA BIOLOGIE THEORIQUE

On définit la biologie comme la science de la vie. Mais on ne connaît pas une définition acceptable de la vie. On donne des définitions de nature physiologique, métabolique, biochimique, génétique (qui semblent la plus préférée), thermodynamique. Mais toutes ces définitions sont structurales et laissent en dehors de la vie les aspects phénoménologiques des activités mentales et de la conscience vivante.

Peut être pour cette raison on préfère parfois une définition plus restreinte de la biologie comme le domaine qui étudie tous les aspects physico-chimiques de la vie. Dans ce cas, la biologie reste une science structurale qui ne s'occupe que d'une partie des phénomènes de la vie.

Dans le cadre du modèle structural-phénoménologique, la vie est une propriété émergente, une fonction (ou une architecture de fonctions) d'une organisation spécifique structurale-phénoménologique.

Avec une semblable définition, la biologie reste la science de la vie, concernant tous ses aspects, pas seulement les processus physico-chimiques.

Mais il existe aussi une biologie théorique qui veut comprendre l'essence et la nature du vivant.

Il y a trois types possibles de biologies théoriques:

I. La Biologie Théorique Structurale (BTS), basée sur la science structurale classique et moderne.

II. La Biologie Théorique Structurale influencée par les travaux et les idées de la Vie Artificielle, et, en général, par la science structurale contemporaine.

III. Une Biologie Théorique Structurale-Phénoménologique (BTSPH).

On peut considérer que les objectifs majeurs de la biologie théorique sont, en général, les suivantes:

- comprendre la nature et l'essence de la vie;
- l'élaboration des théories générales;
- distinguer nettement le vivant du non-vivant.

L. Margulis, J.F.Danieli et L. Wolpert dans un éditorial sur la biologie théorique écrivent:

"Theoretical biology means different things to different people.

For some, it is the discovery of a paradigm (souligné par M.D.), which can be stated in words and which serves to orient thought about living organisms, or ecosystems in the most general sense.

For others it is a means for developing quantitative use of data sets which are too complex to handle intuitively.

For yet others it may be a means of classification, or of making a specific prediction, or of analyzing a system so as to optimize the chances of correctly stating a research problem" [17].

Les trois auteurs mentionnés ci-dessus déclarent qu'ils préfèrent à croire que la plus importante des idées sur la biologie théorique c'est celle du paradigme qui permet de répondre à des questions comme les suivantes: Comment la vie commence? Comment se sont formés les eukaryotes? Comment le système nerveux central mémorise des informations? Comment expliquer la conscience?

Les auteurs mentionnés font un appel pour trouver un nouvel principe pour expliquer la nature et les phénomènes de la vie. Mais, il faut le dire, ça ce n'est pas possible sans

un nouveau et très puissant modèle ontologique de l'existence toute entière, même si nous sommes forcés à le trouver en cherchant la nature de la vie et de la conscience. Il y a aussi des raisons imposées par la physique elle-même, par la science de l'information, aussi par la mathématique et même par la pensée "pure" pour changer dramatiquement le modèle ontologique utilisé par la science structurale et contemporaine. Le passage vers une science structurale-phénoménologique et vers une biologie théorique structurale-phénoménologique ne pourrait se faire sans ce changement de modèle ontologique du monde.

Quels sont les principes de la biologie théorique structurale (BTS)? On peut citer les suivants:

- a. La théorie de l'évolution (mutation et sélection naturelle).
- b. L'existence du génotype (l'information génétique héréditaire) et du phénotype (représentant l'organisation concrète et le comportement qui résultent aussi sous l'influence des conditions de croissance et de développement).
- c. Réproduction
- d. Organisation hiérarchique; interactions nonlinéaires entre les composantes; feedback; stabilité.
- e. Métabolisme.
- f. Le rôle de l'information, en général, (pas seulement de l'information génétique), dans le fonctionnement des organismes et dans leurs relations extérieures (Note: malheureusement sans reconnaître comme caractéristiques du vivant, le mental, les formes de conscience, l'esprit et leurs conséquences, la science, la culture, la technologie etc).
- g. La fonctionnalité des organismes envers l'environnement.

Ces éléments théoriques structurales ne donnent aucune raison pour le mental, pour la relation entre le discontinu et le continu, pour le Gestalt, pour la relation entre le symbol et la matière, pour l'émergence du sémantique dans le cadre de la vie. Tout ce qu'on dit par la biologie théorique structurale c'est que ces propriétés émergent à cause

- h. Des interconnectivités avec énormément d'interconnexions, d'un très grand nombre d'éléments.

Mais on exprime aussi des doutes, dans le cadre même de la biologie théorique structurale, sur cette émergence basée seulement sur des éléments structuraux.

Le domaine de la Vie Artificielle lancé par Christofor G. Langton (1984, 1986, 1987) [18][19][20] lui même descendant, du point de vue conceptuel, de Von Neumann et A.W.Burks, développe l'idée que la vie, comme manifestation dynamique, peut avoir une forme logique, une logique de la vie, qui peut être réalisée sur n'importe quelle structure physique. On peut simuler donc la vie sur un ordinateur, par des programmes et structures informatiques, et si on définit la vie par les principes de la biologie théorique structurale, ce logiciel avec son substrat est par conséquence vivant!

Les directions d'attaque de la Vie Artificielle sont aujourd'hui [21] la reproduction, la programmation génétique et le développement, en utilisant des automates cellulaires, les fractals, les algorithmes génétiques, tout sous forme informatique.

Et quand on voit sur le moniteur de l'ordinateur des structures qui se reproduisent on considère qu'on a gagné un aspect du vivant. Mais non! On démontre que la reproduction n'est pas seulement un apanage du vivant, mais aussi du non-vivant, que c'est quelque chose d'automate que l'organisme vivant peut l'utiliser. Et de même avec tous les autres aspects de la Vie Artificielle, qui reste dans le domaine du neo-structuralisme contemporain.

Si La Métrie [22] introduisait l'homme machine dans le XVIII-e siècle, la Vie Artificielle introduit l'homme logiciel ou le vivant logiciel dans le XX-e siècle. C'est vrai qu'il y a des spécialistes du domaine de la Vie Artificielle qui ne peuvent pas nier la nécessité de l'enracinement du vivant dans le monde physique. Et ils observent qu'on a toujours besoin d'un substrat physique, du moins l'ordinateur et par conséquence c'est l'ensemble logiciel-ordinateur qui devient vivant. Mais, la même vie, comme logiciel, on peut l'implanter sur des divers substrats physiques et le résultat sera le même, donc l'essence de la vie c'est le logiciel. L'argument a été utilisé par le physicien britannique Stephen Hawking, qui considère les virus informatiques comme des formes de vie, en satisfaisant la définition d'un systeme vivant (sans métabolisme propre, mais qui utilise le métabolisme d'un hôte). Le virus informatique peut satisfaire les critères de la biologie théorique structurale, mais celle-ci n'explique pas la vie. Un systeme vivant n'est plus un système, mais une autre chose, même s'il comprend une partie systemique, c'est-à-dire structurale.

Dans le mois de janvier 1995, on a annoncé, dans la presse, que des hommes de science japonais vont construire jusqu'au 2001, à Kyoto, un cerveau artificiel par l'interconnection de 1000 millions de circuits électroniques intégrés, en espérant de découvrir le mode de fonctionnement de l'esprit humain. L'idée de base est la même,

celle de la Vie Artificielle. Mais on n'obtiendra pas un cerveau vivant et je ne peut pas m'abstenir de faire une parallèle avec les expérimentations de plus en plus couteuses dans le domaine des particules élémentaires pour obtenir, par leurs collisions, le contenu de celles-ci, voir la matière profonde de l'existence. On ne peut pas obtenir, de même, la vie, en augmentant le nombre des éléments hardware et software et leurs interconnexions, parce qu'on ne peut pas obtenir de cette manière un accès dans la matière profonde, dans la composante informaterielle, essentielle pour que la vie se manifeste.

Avec le modèle de la biologie structurale, on ne pourra jamais obtenir la Vie Artificielle Vivante, mais une immitation de ce qui est structural dans le vivant. Mais le domaine de la Vie Artificielle peut préparer le chemin pour une Vie Artificielle Vivante. Pour cette raison le domaine de la Vie Artificielle est extrêmement important.

De même, avec le modèle de la biologie structurale on ne pourra jamais obtenir un cerveau vivant, un esprit. Mais il faut s'y préparer pour la partie structurale d'un futur cerveau artificiel vivant, d'un esprit artificiel.

Je crois qu'on ne doit pas attendre les résultats finaux de ces recherches pour constater qu'on ne peut pas obtenir la vie ou l'esprit par voie purement structurale, et seulement à ce moment là de commencer à explorer de nouvelles possibilités.

Il y a beaucoup de raisons d'essayer de bâtir en parallèle avec la science neo-structurale (la science structurale contemporaine) une science structurale-phénoménologique.

5. LA VIE ARTIFICIELLE VIVANTE ET LA BIOLOGIE THEORIQUE STRUCTURALE-PHENOMENOLOGIQUE

Pour une biologie théorique structurale-phénoménologique (BTSPH) il faut admettre premièrement les principes de la biologie théorique structurale, avec la même formulation ou en les complétant avec des aspects phénoménologiques, après le cas; enfin, il faut ajouter de nouveaux principes.

Par exemple, la théorie de l'évolution qui est une théorie structurale doit être présentée sous la forme d'une théorie structurale-phénoménologique de l'évolution. Une esquisse d'une telle théorie a été déjà présentée [23].

De même, en ce qui concerne le rôle de l'information dans les organismes, il faut mentionner l'information structurale, l'information phénoménologique et l'information combinée structurale-phénoménologique.

Mais avant de corriger les principes de la biologie théorique structurale il est nécessaire de préciser les nouveaux principes.

Pour faire la transition entre la théorie structurale et celle structurale-phénoménologique il faut introduire un principe qui dérive du principe très général de l'insuffisance de la science et de la connaissance structurale (1987, M.D.) [24] et nommément:

(I) Le principe de l'insuffisance de l'explication structurale du vivant

Sous ce principe, un système vivant n'existe pas. Un système est toujours structural, toujours descriptible par des moyens mathématiques ou logiques, toujours formel, même si parfois on peut le traiter d'une manière informale quand on ne connaît pas tous ses aspects, mais qui restent toujours structurales.

Tout ce qui est vivant est un organisme, et un organisme n'est pas un système, n'est pas un automate, même s'il contient un système ou des automates. C'est la partie phénoménologique qui fait dépasser l'automate ou le système.

On doit faire la différence entre les notions d'organisation et de structure. L'organisation est un groupage d'éléments structurales et phénoménologiques. La structure est toujours descriptible sous forme mathématique; pour l'organisation il faudrait peut être inventer un traitement symbolique pour rassembler la partie formale avec les effets plutôt nonformales des éléments phénoménologiques.

Un essai [25] suggère cette possibilité.

Le deuxième principe de base pour une biologie théorique structurale-phénoménologique devient, évidemment, le suivant:

(II) La Vie est un processus structural-phénoménologique

Dans chaque organisme il y a un couplage entre la partie structurale et la partie phénoménologique. Cette liaison entre les structures et la partie phénoménologique

d'un organisme est à la fois, d'ordre physique et de l'ordre de l'information. Si l'existence du principe phénoménologique (de l'informatière et des sens phénoménologiques) peut être révélée par la méthode de la reconnaissance phénoménologique, le couplage, dont on a fait mention ci-dessus, doit être encore vérifié par voie expérimentale, mais par une méthodologie d'expérimentation approché à la nature du couplage structural-phénoménologique.

On ne peut pas se baser sur les méthodes classiques (des modèles mathématiques et des mesures déterminées par ces modèles) pour prouver la nature de la vie et le couplage structural-phénoménologique dans les organismes. A un principe nouveau dans la nature, qui est tout à fait différent de tous les autres principes reconnus par la science (structurale), il nous faut aussi une ligne méthodologique nouvelle, supplémentaire mais en connexion avec la méthodologie classique.

Le troisième principe de base fait la liaison avec l'entière existence et avec tous les autres domaines de la science:

(III) Un organisme est doublement ontique

Il se trouve à la fois dans l'Univers spatio-temporel et dans la matière profonde qui est la source et le substrat de l'univers.

On peut considérer ce principe comme plus philosophique que les deux autres, mais ce n'est pas possible de l'éliminer. Avec ce principe on peut expliquer la liaison entre le discontinu et le continu, le Gestalt d'un organisme envers lui-même et envers un autre organisme, l'objectivité des corps continus en présence des organismes, jusqu'aux phénomènes de la conscience.

En ajoutant ces principes à ceux de la Biologie théorique structurale (BTS), on obtient l'ensemble des principes d'une Biologie théorique structurale-phénoménologique (BTSPh). C'est vrai, quelques principes de la BTS seront, plus ou moins, modifiés pour satisfaire la BTSPh.

Avec les principes BTS on peut obtenir un simulacre de la vie qu'on appelle Vie artificielle, pas du tout sans intérêt; avec les principes BTSPh on peut vérifier la viabilité d'une science structurale-phénoménologique et on peut se diriger directement vers la réalisation d'une Vie artificielle vivante, c'est à dire d'une vraie vie artificielle.

C'est difficile peut être de reconnaître la nécessité de ce nouveau chemin dans la science, mais il offre une chance pour connaître la vérité sur la réalité.

Notes et références.

1. **J.von Neumann**, *Theory of Self-Reproducing Automata* (édité et complété par A.W.Burks), University of Illinois Press,1966.
2. **G.J.Chaitin**,*To a mathematical theory of life*,ACM SICACT News 4 (january 1970) pp.12-18.
3. **G.J. Chaitin**, *Toward a mathematical theory of life*, pp 477- 498, in the volume, *The Maximum Entropy Formalism*,R.D.Levine and M. Tribus (eds), MIT Press, 1979.
4. **G.J.Chaitin**, *To a mathematical theory of life*,op.cit.,p.85.
5. **Niels Bohr**, apud **René Dubas**, *The mysteries of life*, The New Encyclopedia Britannica,15-th edition,1994,vol.PROPAEDIA, p.92.
6. **Niels Bohr**, *Atomic theory and the description of nature* (1934), p.333, dans le volume *Great books of the western world*,vol.56,Encyclopedia Britannia, Inc., 1993.
7. **C.H.Waddington**, *The nature of life* (1961), dans le volume *Great books of the western world*, vol.56, Encyclopedia Britannica, Inc., 1993.
8. *Op.cit.*, p.711.
9. **Mihai Draganescu**, *Profunzimile lumii materiale*, Bucuresti,1979.
10. **Mihai Draganescu**, *Ortofizica*, Bucuresti, 1985.
11. **C.H.Waddington**, *Op.cit.*, p.745.
12. Idem.
13. Ibidem.
14. **John Horgan**, senior writer, *Can Science Explain Consciousness?*, Scientific American, vol.271, No.1, 1994,July, p.72-78.
15. **Mihai Draganescu**, *Profunzimile lumii materiale* (Les profondeurs du monde matériel), 1979, Po.cit. (avec une version en anglais "The depths of existence, preprint, 1992); *Ortofizica* (Orthophysique), 1985, *Op.cit.*; *Spiritualitate, Informatie, Materie*, Bucuresti, 1988; *Inelul lumii materiale* (L'anneau de l'existence), Bucuresti, 1989 (2-e édition de l'ontologie de l'auteur); *Informatia materiei* (L'information de la

matière), Bucuresti, 1990; Tension philosophique et sentiment cosmique, Bucarest, 1991; Eseuri (Essais), 1993.

16. **Mihai Draganescu**, *Principes d'une science structurale-phénoménologique*, Bulletin de la Classe de lettres et des Sciences Morales et Politiques, Académie Royale de Belgique, 6-e série, Tome IV, 1993, No.7-12, p.258-261.

17. **L. Margulis, J.F.Danielli, L.Wolpert**, *Editorial*, Journal of Theoretical Biology, vol.86, 1980, pag.1-2.

18. Ed. **Christofer G. Langton**, *Artificial Life*, Proceedings I, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol.VI, Addison Wesley, 1989.

19. Ed. **Christofer G. Langton** and others, *Artificial Life*, Proceedings II, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol.X, Addison-Wesley, 1991.

20. Ed. **Christofer G. Langton**, *Artificial Life*, Proceedings III, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol.XVII, Addison-Wesley, 1994.

21. **Jean Claude Heudin**, *La Vie Artificielle*, Hermes, Paris, 1994.

22. **La Métrie**, *L'homme machine* (1748).

23. **Mihai Draganescu**, *Ortofizica*, Op.cit.

24. Apud **Mihai Draganescu**, *Principes d'une science structurale phénoménologique*, Op.cit.

25. **Mihai Draganescu**, *O teorie a celulei ca organism abstract* (Une théorie de la cellule comme organisme abstrait), p.393-407, dans le volume M.Draganescu, Gheorghe Stefan, Corneliu Burileanu - Electronica functionala, Bucuresti, 1991.