ISSN 0980-1472

Revue Internationale de

systémique

NUMÉRO SPÉCIAL
« BIOLOGIE ET SYSTÉMIQUE »

Vol. 2, N° 4, 1988

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systémique

Revue Internationale de Sytémique

volume 02, numéro 4, pages 459 - 478, 1988

Sur l'évolution de certains concepts physiques dans les sciences de la vie

Zbigniev William Wolkowski

Numérisation Afscet, janvier 2016.

Creative Commons

REVUE INTERNATIONALE DE SYSTEMIQUE
Vol. 2, N° 4, 1988, pp. 459 à 477

SUR L'EVOLUTION DE CERTAINS CONCEPTS PHYSIQUES DANS LES SCIENCES DE LA VIE

Zbigniew William WOLKOWSKI

Université Pierre et Marie Curie [1]

Introduction

Il est possible de résumer quelque peu l'histoire de la science moderne en suivant son évolution depuis un *modèle mécaniste* (à partir de 1600 environ), à travers un *modèle chimique* (vers 1800) vers le *modèle informationnel* actuel (depuis 1950, voir 1900 selon les points de vue). Il est utile de noter que cette mutation n'est pas un remplacement ni une simple addition, mais bien une synergie, car chaque modèle successif cherche à intégrer et à s'étendre en utilisant les acquis les plus récents ainsi que le savoir accumulé.

C'est aussi l'histoire du transfert et de l'application d'un modèle dominant en physique vers les sicences de la vie. Ainsi la mécanique élémentaire de Galilée a servi pour expliquer le corps animal en tant que machine : citons Santorio avec les bases du métabolisme en 1600, Harvey avec la circulation sanguine en 1628, Borelli et Descartes vers 1664 avec l'analyse mécanique du mouvement.

L'exemple de la circulation sanguine ou de la fonction cardiaque servira pour suggérer le changement de perception qui suivra. D'abord découverte comme simple action hydromécanique, elle a été affinée avec les méthodes de la biologie moléculaire, et maintenant s'approprie les progrès de la magnétocardiographie et de la stimulation électrique. Le fait de reconsidérer le rôle du sang a permis à chaque génération de savants d'affiner une réponse plus complète à la question concernant la

1. 4, Place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

Revue internationale de systémique. 0980-1472 Vol. 2/88/04/459/20/$ 4.00/© Gauthier-Villars

nature du transport, son contenu, les aspects subtils de l'échange et du message dont le sang est porteur. Comme autre exemple considérons l'anesthésie médicale, qui a commencé par un coma induit brutalement, pour ensuite passer à l'utilisation d'agents chimiques, et explore actuellement l'électronarcose (37), l'anesthésie acuponcturale (38) et d'autres méthodes.

Cette métamorphose de modèles conceptuels, du matériel vers l'immatériel, correspond à une mutation plus profonde du paradigme scientifique, comme nous le verrons par la suite.

Evolution d'un modèle conceptuel privilégié

En même temps, l'augmentation de la résolution de l'observation de la matière vivante fait découvrir la complexité des structures les plus réduites. Alors que jusqu'à 1600 la résolution s'arrêtait au niveau de l'organe, le microscope (Loewnhoek, Malpighi, Hooke) permit d'atteindre la cellule, ensuite le niveau subcellulaire, submoléculaire et subatomique.

Vers 1800, le *modèle chimique* a introduit une nouvelle vision avec interaction ou échange d'information par liaison chimique, définitivement formalisée vers 1950 par Pauling. Après le concept d'affinité chimique introduit en 1803 par Berthollet, et la loi des proportions équivalentes en 1807 par Richter, viendra la loi des relations simples de Gay-Lussac en 1808, et la notion de molécule en 1811 avec Avogadro. La décomposition électrolytique en éléments par Davy en 1807 a montré la nature reversible de la liaison chimique. Après la synthèse de l'urée par Wohler en 1828 et les découvertes de la stéréochimie et la synthèse organique, la voie était ouverte pour conduire à la vision prédominante de la vie à travers le modèle chimique et biochimique dans la biologie moléculaire.

La réussite spectaculaire de ce modèle de la vie a occulté le développement du *concept de champ*, qui est peut-être la plus importante contribution de la science et de la philosophie de ces trois derniers siècles. En 1800 Volta avait observé déjà la contraction musculaire par l'électricité. A la suite d'expériences sur l'électricité et le magnétisme, Oersted en 1820 et Faraday en 1821 introduisent le concept d'un champ de forces, que Faraday développera après 1830. Par certains côtés, c'était une continuation des travaux de Newton et de Descartes vers 1620, et de Boscovitch vers 1750. Finalement, avec son brillant jeu d'équations, Maxwell a formalisé les lois du champ (électromagnétique) à partir de 1864.

Alors que jusqu'en 1850, seulement la substance et la matière étaient considérees en physique comme des sujets réels et légitimes d'investigation, à partir de ce moment le concept de champ devient progressivement fondamental et unificateur. L'évolution de la physique a provoqué un *déplacement de perception, de la particule vers le champ*, dans le cadre duquel la première n'est qu'une densification spécifique ou une singularité. Après 1910, Einstein avait formulé un champ de géométries, et la théorie quantique manipule un champ de probabilités. De cette manière, le concept devient de plus en plus abstrait et immatériel, en attendant sa synthèse dans une théorie de champ continu unifié (1).

Un champ peut se définir en physique comme une fonction d'espace et de temps $f(P3t)$ ou $f(P4)$ qui obéit à une équation de dérivées partielles, telles que $E[f(P4)] = 0$ et possède une variance définie. C'est une quantité physique qui prend différentes valeurs à divers endroits de l'espace, une fonction mathématique de position, c'est aussi un système doué d'un nombre infini de degrés de liberté. Cette propriété est de première importance, car le biologiste est solidaire du physicien pour son jugement et le choix de sujets d'étude authentiques et scientifiquement fondés. Par exemple, «L'Encyclopédie Universalis» définit la biophysique comme «l'étude des structures dont l'ensemble hiérarchisé constitue la matière vivante ainsi que les phénomènes et mécanismes *physiques* par lesquels ces structures manifestent leur fonctionnalité».

Parmi les classes de champs courants citons pour mémoire le champ scalaire, vectoriel, tensoriel ou spinoriel. Nous connaissons les champs électromagnétiques, gravitationnels, les champs de forces nucléaires et champs quantiques associés à différentes particules élémentaires. Les «cartes de champ» sont des représentations suggestives de cette nature du champ dans l'espace. Par exemple, la distribution et la structure des lignes de force entre deux charges de même signe ou de signe opposé. Les cartes de champ électrostatique à partir de conducteurs de différentes formes sont aussi très frappantes. Et l'on serait tenté de chercher des similitudes avec des schémas de transformations dynamiques en biologie, dans le cas d'une cellule à différentes étapes d'un processus mitotique.

Chaque programme de travaux pratiques de physique présente l'expérience avec le tube de Kundt et les ondes stationnaires. Les figures de Chladni, nommées d'après un physicien et artiste de début du 19e siècle, sont des formes obtenues avec une poudre sur une surface oscillante et appartiennent à une «famille» de cartes de champ. Elles varient avec la fréquence de l'oscillation, et sont une preuve visible de forces en action, organisatrices mais invisibles (2).

Dans cet ordre d'idées, les travaux du précurseur qu'était D'Arcy Thomson (3) suggèrent un lien etnre les systèmes vivants, par classification des formes des espèces voisines et leur développement dans des coordonnées géométriques transformées. En biologie, le champ est un concept qui décrit un système lorsque le comportement de ses éléments est déterminé par les positions des éléments à l'intérieur du système (4). Ce concept est de toute évidence cybernétique. L'existence de tels systèmes a été décrit en premier lieu par de nombreuses expériences sur le mouvement, l'élimination et l'addition des parties d'un embryon (5).

Dans des nombreux cas, des organismes normaux se développent à partir de tels embryons, car leurs composants changent leur chemin de développement en accord avec la nouvelle position dans le tout. Weiss en 1939 compara l'embryon normal de la libellule avec un embryon plus petit, mais complètement formé à partir de la moitié postérieure d'un œuf lié autour de son milieu après la ponte (6). Needham en 1942 (7) a observé la régénération d'un cristallin à partir de la marge de l'iris dans l'œil d'un triton après l'enlèvement chirurgical du cristallin naturel. Dans le développement embryonnaire normal, le cristallin se forme de manière très différente, à partir de la peau. Wolf (8) a été le premier à découvrir ce type de régénération, et il a choisi délibérément une mutilation qui *ne pouvait arriver par accident dans la nature.* Il ne pouvait y avoir de sélection naturelle pour ce processus.

Le moyen de comprendre ces phénomènes semble être en termes d'entités causales qui sont plus que la somme des constituants des systèmes en développement, et qui déterminent le but de ce développement. Ainsi il semble justifié de considérer le concept de champ comme un aspect important de la synergie et de la cohérence dans les systèmes biologiques. Ce dernier est le titre d'un séminaire transdisciplinaire qui se déroule au Centre Universitaire Jussieu - St Bernard à Paris depuis avril 1983 (19).

Entre 1912 et 1922, Gurvitch a introduit le concept de champ (champ morphogénétique) en embryologie, et il s'est posé la tâche d'élucider ses propriétés. Initialement il posa l'hypothèse d'un facteur inconnu qui gouverne la morphogenèse, et plus tard l'identifia avec des interactions intercellulaires (rayonnement mitogénétique) qui déterminent le déplacement et la différenciation des cellules embryonnaires (9). En 1925, l'autrichien Weiss appliqua le concept de champ au processus de régénération, et en 1934 les britanniques Huxley et De Beer combinèrent ce concept avec celui de gradient.

Entre 1940 et 1970, le biologiste britannique Waddington (10) et le mathématicien français Thom (11) introduisaient des idées sur le développement embryonnaire en tant que champ vectoriel divisé en un nombre limité de zones de «stabilité structurelle». Avec la théorie des catastrophes, cette approche topologique d'un champ proposé par Thom continue d'avoir un impact fructueux sur la recherche en biologie et dans le comportement des systèmes vivants en général. La biologie théorique contemporaine continue de propager le concept de champ, mais aucune opinion unifiée sur les propriétés intrinsèques sousjacentes au phénomène qu'elle décrit n'a été élaborée.

Il convient de noter que vers 1935, Burr a formulé une description électrodynamique de la vie (18), liée à des mesures de potentiels électriques dans des organismes sains ou perturbés. Plus récemment, Goodwin (13) remarque que le champ morphogénétique ne peut être réduit à la biologie moléculaire des gènes, car leur action est insuffisante du point de vue spatial. L'équation de Laplace, connue depuis le 18e siècle, peut décrire les variations continues caractéristiques de la régénération des protozoaires, une loi locale de moyennes à travers l'espace qui produit un ordre global. Le fait de savoir si les champs morphogénétiques sont de nature électrique, chimique ou biochimique reste une question toujours ouverte. Goodwin maintient que ces recherches devraient continuer en supposant que ce pourrait être un ou tous ces facteurs à la fois. Malgré notre ignorance au sujet de sa nature profonde, son rôle dans le développement est indéniable, et reste un des grands problèmes des sciences de la vie. Il convient de noter aussi les résultats remarquables de Becker (14) sur l'action des champs électriques dans la régénération.

Actuellement, l'enseignement universitaire ne traite pas encore le concept de champ dans l'étude des systèmes vivants, et le cas d'Inyushin, professeur de biophysique à l'Université d'Alma Ata en URSS est une exception à signaler (12). Une biologie théorique satisfaisante nécessite la même complémentarité entre champs et particules que l'on accepte en physique. Le champ apparaît ainsi comme l'unité de forme et d'organisation biologique, alors que les molécules et les cellules sont des unités de composition biologique.

Cette lente évolution permet de dire que les sciences de la vie arrivent à une nouvelle étape de maturité et commencent à décrire l'organisme par sa nature de champ. Ceci avec environ *un demi siècle de retard* après la description du monde inanimé par la physique en ces mêmes termes.

Ainsi, la notion de champ nous rend familiers avec une description dynamique d'une activité spatio-temporelle, l'expression du fait que la matière est progressivement ordonnée et orientée selon des coordonnées

curvilignes. Pour J. Huxley un champ est une région à l'intérieur de laquelle un agent travaille de manière *coordonnée*. Waddington définit un système d'ordre entre des positions instables dans différentes régions,avec un *équilibre* de toutes ces positions. Pour Rudy, c'est un concept *géométrique* plutôt que physique. Dans l'entendement systémique de Van Bertalanffy, le champ morphogénétique des fleurs n'est pas un champ de forces, mais un champ de *stimuli*, de direction (16). En cherchant un dénominateur commun de toutes ces définitions, disons que c'est un *facteur organisateur* dans l'espace où certaines transformations que nous observons ont lieu.

Phoron, ou champ informationnel

A la lumière de la physique contemporaine, le champ est essentiellement un messager, un lien. Il utilise l'espace-temps en tant que langage pour «marquer» l'interaction continue entre la matière. Nous suggérons un concept plus moderne de *phoron* (fig. 1) (du grec «phorei», porter) : une entité en relation avec un champ et qui porte un message, un signal, une communication. Il est lié à un champ où il est semblable à un champ, car ce n'est pas seulement un champ dans le sens physique. En tant que concept double, physique *et* cybernétique (informationnel), son contenu informationnel (celui, qui «met en forme») est essentiel, et la mission qu'il accomplit est son aspect, son empreinte visible et tangible. De même qu'un régulon (entité régulatrice) est semblable à une onde (17), le phoron est semblable à un champ.

Depuis l'avènement de la théorie de l'information (vers 1950, ou même 1900 selon le point de vue des physiciens), la communauté scientifique est davantage consciente des capacités informationnelles particulières de la matière vivante. Il est intéressant de lire comment Pierre Papon, Directeur général du CNRS, soulignait récemment le développement souhaité de la pluridisciplinarité (15), et précisait sa pensée en répondant à la question suivante : «Quel est le changement paradigmatique (au sens de Kuhn) de demain ?». «Depuis dix ans il y a une percée des sciences biologiques et l'utilisation des méthodes et concepts de l'informatique, au delà des disciplines d'origine. Si le paradigme est l'ensemble de mots-clé qui vont servir dans les nouveaux langages qui véhiculent la pensée scientifique d'une époque, on peut penser que l'information, son traitement, sa transmission, sa transformation, son stockage, peuvent être le nouveau paradigme de demain. On retrouvera en effet ce mot clé de l'information en génétique, neurosciences, robotique, intelligence artificielle. Tout cela constitue sans doute un nouveau paradigme».

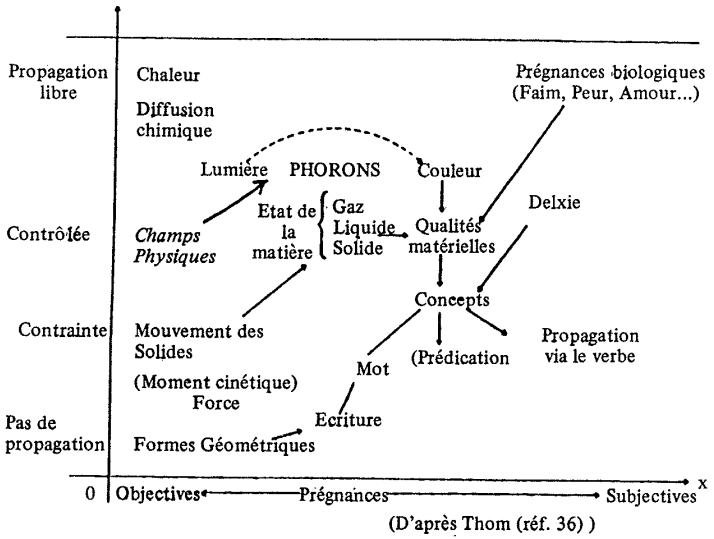


Figure 1. Position du phoron parmi d'autres concepts et entités physiques.

S'il est légitime de dire que les biologistes acceptent lentement après les physiciens la nature de champ des systèmes vivants, il est possible de proposer comme bio-champ la partie non-substantielle de la bio-matière (bio-masse moins la bio-matière). Il est naturel de chercher de tels bio-champs parmi les champs physiques connus : champs électromagnétiques (en particulier infra-rouges, luminescents, émission de photons) (9), thermiques, acoustiques ou composés (combinés). L'être humain et la société possèdent cette propriété spécifique de produire un champ néguentropique, une capacité structurante et organisatrice qui lui est propre (fig. 2).

La liste suvante, non-exhaustive, donne quelques paramètres pour le phoron : nature, source, production, puissance, intensité, orientation, anisotropie, topologie, rayon d'action, interaction avec cibles matérielles, interaction avec d'autres champs/phorons, contenu informationnel, qualités temporelles (liées au temps et à la durée).

Considérons le cas d'une émission de phoron (d'un émetteur vers un récepteur), à travers un milieu de propagation. Les paramètres suivants (non-limitatifs) peuvent être considérés : vitesse de propagation, densité et anisotropie du milieu, puissance et disposition spatiale de l'émetteur, obstacles à l'émission (filtrage, modulation, compétition, qualité du décepteur, etc.).

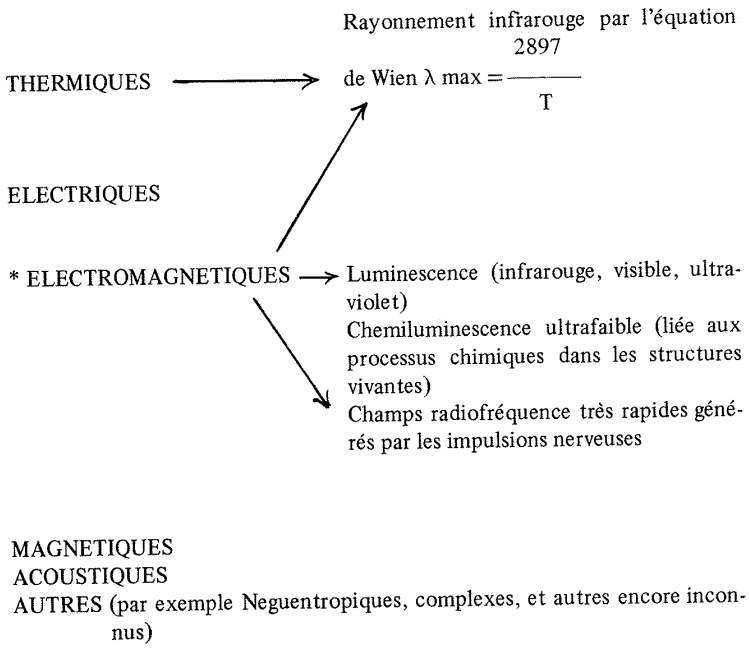


Figure 2. Classification des champs biologiques.

* L'organisme vivant pouvant être considéré comme un oscillateur multiple qui produit du rayonnement électro-magnétique de différentes fréquences.

Il convient de noter que *les aspects informationnels de l'émission des phorons ne sont pas superposables ni réductibles aux aspects physiques* : les lignes de champ (d'une carte de champ) ne sont pas toutes des canaux informationnels. Dans l'interaction avec le récepteur, l'enregistrement, l'amplification, la réflexion, dispersion, diffraction, absorption, etc., sont des paramètres physiques. Mais le codage, la mémorisation, modulation et stockage sont des paramètres informationnels (de communication). Sans entrer dans le détail des acquis récents de la théorie de l'information, par exemple les travaux de Collot, Bouchon-Meunier, Pinson (19), il est toujours difficile d'introduire de manière quantitative la théorie de l'information en physique et a fortiori en biologie. Les lois de conservation de la physique (pour ne citer que celle de la conservation de l'énergie) n'ont pas trouvé d'analogies dans la théorie de l'information. Néanmoins, on peut se demander si par analogie avec le principe de Curie en physique, l'existence d'inégalités n'est pas une condition préalable à la manifestation d'une information.

Le principe de Curie est formulé en deux parties :

1 – Lorsque certaines *causes* produisent certains *effets*, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits.

2 – Lorsque certains *effets* révèlent une dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les *causes* qui lui ont donné naissance.

Les aspects informationnels du phoron se manifestent ensuite dans sa capacité d'organiser et de structurer la matière : un champ continu peut produire des discontinuités et des différenciations à la suite de son interaction avec la matière.

Ce *champ organisateur* peut se caractériser par les propriétés suivantes (auparavant limitées aux champs morphogénétiques, dans l'entendement des biologistes de 1930) :

1 – si une quantité de matière est enlevée, le champ restant manifeste après un certain temps le même schéma (pattern) qu'il aurait donné normalement avec une taille plus grande.

2 – si la matière non-organisée, mais organisable, est introduite à l'intérieur du champ, elle devient structurée par ce dernier.

3 – deux ou plusieurs champs peuvent fusionner dans un seul champ, éventuellement plus complexe.

Il est clair que la notion de phoron ne se réduit pas à un champ physique. Sa nouveauté consiste d'avoir une globalité fonctionnelle, de porter un message, une communication. C'est un *champ informationnel* (un champ qui structure, qui met en forme). Etant donné que les concepts théoriques servent souvent de référence, de modèle et de validation pour d'autres domaines d'investigation intellectuelle, on peut s'attendre à des applications d'un tel concept double (physique et informationnel) dans différents domaines.

Contribution de la physique moderne aux sciences de la vie

Lors d'une discussion récente, il apparaît que l'effet biologique d'un rayonnement électromagnétique dépend moins de la quantité d'énergie que de la qualité d'information (20). Cette conclusion est fondée sur de nombreux exemples (21). Considérons les phénomènes électromagnétiques (EM) en relation avec les systèmes vivants. On les étudie en électrobiologie, électrophysiologie, radiobiologie et photobiologie, et une discipline nouvelle et unificatrice, le bioélectromagné-

tisme. Ces interactions peuvent se ramener à trois types : les effets EM externes provenant de l'environnement, les manifestations EM internes (donc à l'intérieur d'un système vivant), et finalement l'interaction EM entre deux systèmes vivants. Parmi ces trois classes, la dernière est la moins étudiée, mais sans doute la plus intéressante du point de vue épistémologique.

En dehors des effets thermiques bien documentés, les effets athermiques, dits spécifiques, à faible énergie ou «gâchette», sont de mieux en mieux connus (21).

Depuis 50 ans, nous observons des progrès frappants en physique théorique et expérimentale. Mais il y a un décalage temporel pour l'application de ces nouveaux acquis en biologie (22) (23). Les progrès de la physique du solide appliquée aux constituants biologiques, ont conduit à la bio-électronique, à la biologie sub-moléculaire, supramoléculaire et quantique. Parmi les précurseurs dans ce domaine citons les Pullmans en France, et Szent-Györgyi à l'étranger. Ce dernier, après avoir reçu le prix Nobel en biologie, a décalé sa perception du niveau moléculaire vers le niveau sub-moléculaire, il y a 40 ans. La recherche d'une réponse plus satisfaisante à cette question non-triviale et pertinente : «qu'est-ce que la vie ?», posée par Schrödinger, conduit l'investigation vers les particules élémentaires (surtout électrons et protons), mais aussi des photons (c'est-à-dire de la lumière d'origine biologique ou artificielle), des champs électromagnétiques et autres (35).

Dans «Introduction à la biologie sub-moléculaire» de 1960, Szent-Györgyi s'exprime de la manière suivante : «la vie est mise en marche, poussée par des électrons, par l'énergie libérée par ces électrons, pendant qu'ils descendent en cascades depuis le niveau où ils sont arrivés à l'aide de photons. Un électron en mouvement produit un courant. Fondamentalement, le moteur de la vie est ce petit courant électrique, maintenu par la lumière du soleil. Toute la complexité du métabolisme intermédiaire n'est que de la dentelle autour de ce fait fondamental» (22).

La *fig. 3* donne un modèle électrique simplifié pour une cellule biologique, qui souligne l'importance des propriétés électriques de la membrane. Ceci rend possible des fréquences de résonance spécifique, et une sensibilité particulière aux ondes électro-magnétiques (*fig. 4*).

Cette tentative correspond peut être au vœu formulé par le thermodynamicien Gibbs il y a un siècle : «*trouver le point de vue à partir duquel le sujet apparaît dans sa plus grande simplicité*». Ces processus électroniques sont, à côté des transformations biochimiques, une réalité complémentaire de la vie. Les deux sont couplés, et c'est ainsi que la

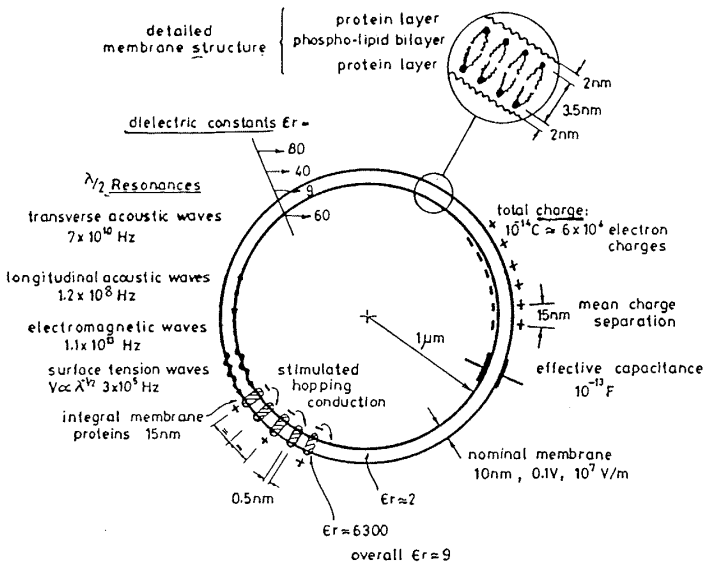
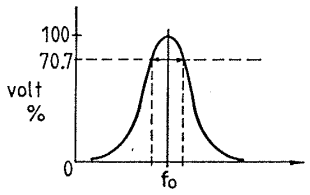


Figure 3. Modèle électrique simplifié d'une cellule biologique (d'après C.W. Smith). in «High-sensitivity biosensors and weak environmental stimuli» in «International Industrial Biotechnology» vol 6 (3), Avril 1986.



Fréquence de résonance

Largeur de bande $\triangle f$ à la demi-puissance (3 dB)

Fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Précision de la résonance (facteur Q) $= \frac{\text{Energie emmagasinée}}{\text{Energie perdue}}$ par cycle

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \omega\tau = \frac{f\,o}{\triangle f} = \frac{\omega\,o}{\triangle\,\omega}$$

Figure 4. Principe de la résonance

description de la vie en termes d'accepteurs et de donneurs d'électrons, d'émetteurs et récepteurs d'ondes électromagnétiques, d'échange de photons, etc. ouvre un horizon fascinant pour la recherche sur la vie et la mort, la santé et la maladie.

Pour revenir au domaine électro-magnétique, il est admis que les effets de résonance ou de gâchette dans les systèmes biologiques nécessitent des conditions optima de fréquence, d'intensité, de cohérence, de direction et de dose. Ceci est dû au fait que les systèmes vivants sont caractérisés par un comportement non-linéaire (24) (40), rendant ainsi possibles ces effets résonants cohérents, cumultatifs et anisotropes. Etant donné que dans les effets athermiques l'énergie échangée est négligeable, le rôle du champ EM est celui d'un signal qui *redistribue* les énergies en présence. Un signal (une information) est l'agent par lequel un schéma (pattern) identique ou quasi-identique est reconnu et il suscite une réponse différente.

Notons trois exemples d'effets athermiques dans les systèmes biologiques :

1 – Stimulation à basse énergie par le laser au rubis ou hélium-néon dans différents cas (23) (25).

2 – Effet cytopathique «miroir», décrit par Kaznatcheyev depuis 1966 (26), et Kirkin en 1981 (34).

3 – L'existence d'effets de résonance dans la région micro-onde (24) (28) (32) confirme la réponse non-linéaire des systèmes biologiques et suggère que les oscillations électriques sont nécessaires à la reproduction cellulaire (29) (35).

L'idée d'un champ en tant que messager ou langage pour marquer la matière vivante est aussi la conclusion des mesures de champs électrostatiques, en cartes de champs avec équipotentiels (27) (33). Peut-être les applications de ces cartes de champ seront disponibles avant leur explication exhaustive, comme dans le cas d'électrocardiogrammes et magnétocardiogrammes, mentionnés dans l'introduction.

Un dernier exemple est du à Callahan (31). Dans son étude du comportement des insectes, il est arrivé à la conclusion que les antennes des insectes sont réellement des antennes, dans le sens de la radiocommunication. Elles possèdent des propriétés de résonateurs diélectriques et de thermo-électrets, avec cavités et guide d'ondes tubulaires. La variété de formes des antennes d'insectes, jusqu'alors sans signification, prend tout son sens comme une espèce de réponse morphogénétique «clé-à-serrure» à de générateurs de champs. Callahan a donné des indications sur la communication entre les insectes dans le domaine micro-onde et infrarouge, en particulier à travers les «fenêtres» atmosphériques à une longueur d'onde de 9 et 14 microns.

Conclusion

Il a été souvent dit que la recherche de meilleures réponses commence par une recherche de questions meilleures et plus appropriées. Toutes les diverses lois de la physique obéissent aux mêmes grands principes de conservation : charge électrique, nombre baryonique, masse/énergie, moment angulaire. Sera-t-il nécessaire de postuler l'existence de nouveaux principes de conservation, dans l'évolution des concepts physiques, et son extension éventuelle à une physique organique ou cybernétique ? (17). Quelles sont les nouvelles résonances ? Seront-elles liées à l'asymétrie, la forme, la similitude ou l'information ? (19).

Dans l'état actuel des connaissances, il est possible de proposer un schéma informationnel pour un système vivant (*fig. 5*), sans oublier de considérer l'énergie qualifiée ou différenciée par l'information, dans le triangle de Spreng-Weinberg (39). (*fig. 6*). Nous avons essayé de montrer brièvement l'évolution des concepts physiques, à travers plusieurs modèles successifs depuis trois siècles. Telle qu'elle est enseignée actuellement, la physique présente des systèmes «purifiés» et «réduits» par nécessité, en minimisant et réduisant les relations.

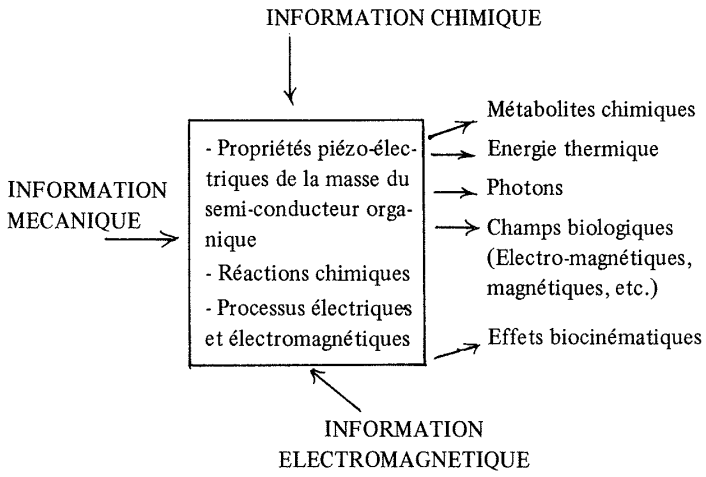


Figure 5. Schéma informationnel d'un système vivant.

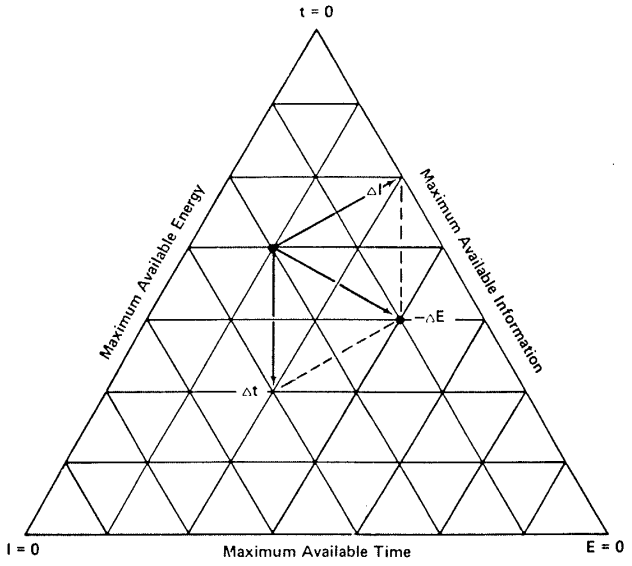


Figure 6. Triangle de Spreng-Weinberg (39).

Or, en biologie, les relations, connections et réseaux ne peuvent être ignorés sans payer un prix plus ou moins élevé. La synergie et la cohérence semblent être des propriétés courantes dans les systèmes biologiques en bon état de fonctionnement, et la notion de champ, de phoron, pourrait être un langage commun approprié.

En physique, l'explication du macroscopique est recherchée par le microscopique. La cybernétique ne procède pas de manière aussi simplifiée. On peut formuler une remarque au sujet du modèle informationnel lui-même, où il n'y a pas de communication sans contexte. Dans le monde newtonien, les objets faits de matière (substantiels), constituent la réalité étudiée. Puisque la quantité explicative centrale de la cybernétique (l'information) possède une dimension nulle, comme l'a démontré Stahl (41), alors les quantités de dimension non-nulle (masse, longueur, temps et leurs dérivés comme la force et l'énergie), n'ont qu'un rôle limité dans l'explication cybernétique. (*Tableau 1*).

En grec moderne, le mot «physika» veut toujours dire «naturellement». Si, comme la physique le dit depuis presque un siècle, l'univers possède essentiellement une nature de champ, alors les êtres vivants n'en sont pas exceptés.

En fait, nous sommes peut-être à présent aussi ignorants des paramètres et facteurs informationnels à l'intérieur d'un corps vivant, comme nous étions de l'anatomie physique il y a quelques siècles.

En conclusion, cette citation de Thom semble toute indiquée (36) :

> «L'existence en biologie de niveaux hiérarchiques d'organisation (molécule, organelle, cellule, tissu, organe, organisme, espèce...) soulève de grandes difficultés théoriques au point de vue réductionniste ; l'existence de ces niveaux est un puissant facteur de simplification dans la description et l'explication des phénomènes vitaux, et nul ne saurait s'en passer. En ce sens, si l'idéal scientifique reste réductionniste, une approche holistique autonome appropriés à chaque niveau reste inévitable et indispensable. L'approche réductionniste repose essentiellement sur l'existence d'éléments discrets. L'approche platonicienne ou holistique, présuppose une supériorité ontologique du continu. La querelle entre les deux approches est donc une manifestation de cette «aporie fondatrice» des mathématiques qu'est l'opposition Continu-Discontinu. Il faut s'attendre à ce qu'elle dure longtemps».

Néanmoins, on peut envisager raisonnablement le temps où les systèmes vivants seront décrits en termes de régulation et d'information, de champs et d'oscillations, de cohérence et de lumière.

La situation physique de base	Etat discernable	Constante dimensionnelle	Interprétation
Distribution de molécules gazeuses (Nb. vol. E totale donnée)	une distribution part. énergie et quan. mouvt. à l'équilibre.	cte de Boltzmann $K = [E/\Theta N]$	entropie (au sens meca stat) par molécule
Réaction chimique ou changement d'état	une distribution part. énergie parmi celles poss. pour crois homogène du syst.	cte thermodynamique $R = [E/\Theta N]$	entropie thermodynamique
Mouvt. de molécules	une configuration spatiale particulière	volume par molécule $= [V/N]$	volume moléculaire apparent
Macromolécules	un arrangement part parmi permutation des résidus élément.	durée de synthèse d'un arrangt aléatoire $= [t]$	temps total pour synth. une macro molécule spécifique
Composition génétique d'un organisme	une combinaison de gènes	taux de croiss. rel d'une population $= [M/t], [N/t]$ $[N_i/N_j]$	niveau d'adaptation à l'environnement par sélection naturelle
Sélection d'une entité qd 1 cert qté d'énergie est dépensée/ essai	une entité choisie dans un ensemble	énergie pour une sélection $= [E]$	«cherté» énergétique d'un certain choix
«Message» au sens de la théorie class. de l'inform.	une permutation part. de symboles	sans dimension donné en «bits»	info conten. ds 1 message où capacité de sélect 1 entité part ds 1 ensemble

Tableau 1. Modifications dimensionnelles de la fonction d'information numérique (d'après W.R. Stahl, 1961) (41).

(1) EINSTEIN A., INFELD L., «The evolution of physics», Simon and Schuster, New-York, 1938.
EDDINGTON A., «The nature of the physical world», Ann Arbor 1958.
D'ESPAGNAT B., «The conceptual foundations of quantum mechanics», Benjamin, 1976.

(2) JENNY H., «Cymatics», Basileus Press, Basel, 1967. «The images of sound», UNESCO Courrier, December 1969, Paris.
STEVENS P.S. «Patterns in nature», Atlantic Little, Boson, 1974.

(3) D'ARCY THOMPSON, «On growth and form», Cambridge University Press, 1969.

(4) «Biological field», Soviet Encyclopedia, *20*, 92c.

(5) DRIESCH H., «Science and philosophy of the organism», A & C. Black, 1908.

(6) WEISS P., «Principles of development», New York, 1939.

(7) NEEDHAM J., «Biochemistry and morphogenesis», Cambridge University, 1942.

(8) WOLFF G., «Mechanismus and vitalismus», Leipzig, 1902.

(9) GURVITCH A.G., «Teoria biologicheskogo polya», Moscow, 1944.
SHYAKHTINA, L.S., GURVITCH A.A., Biophysics *17*, 1146, 1976.
GURVITCH A.G., «Collected works», Moscow, Medicine Publishers, 1977.
RATTENMAYER M., POPP F.A., NAGL W., Naturwiss, *68*, 572, 1981.
«Photon emission from biological systems», Ed. B. Jezowska et al., World Scientific, Singapore, 1987, ISBN 9971-50-151-1.

(10) WADDINGTON C.H., «Towards a theoretical biology», Edinburgh, 1969-1972 ; «Evolution of an evolutionist», Edinburgh University, 1975.

(11) THOM R., «Structural stability and morphogenesis»: Benjamin, 1975. Synthèse, *31*, 359, 1975.

(12) INYUSHIN V.M., «Elementy teoril biologicheskogo polya», Kazakh State University, Alma Ata, 1978, 97 pages.

(13) GOODWIN B.C., «On morphogenetic fields», Theoria to theory, *13*, 109, 1979 and «Pattern formation and its regeneration in the protozoa», Soc. for General Microbiology Symposium, Cambridge, 1980.

(14) BECKER R.O., «The significance of bioelectric potentials», Biolectricity and Bioenergetics, 1, 187, 1974.

(15) PAPON P., «Pour favoriser la pluridisciplinarité : des structures nouvelles, les instituts pluridisciplinaires», Le Courrier du CNRS, 58, 8, 1985. Interview à France-Culture du 12 juin 1985.

(16) Von BERTALANFFY L., «Modern theories of development», Oxford Press, 1933. «General systems theory», Allen Lane, London, 1971.

(17) BOGDANSKI C., Kybernetes, *6*, 265, 1977, *10*, 179, 1981.

(18) BURR H.S., NORTHROP F.S.C., «The electro-dynamic theory of life», Quart. Rev. Biology, *10*, 322, 1935.

(19) «Synergie et Cohérence dans les Systèmes Biologiques», Séminaire transdisciplinaire, Z.W. Wolkowski, Ed., Paris. Première Série 1983-1984 ; deuxième série 1984-1985 ; troisième série 1985-1986, ISBN 2-904414-01-0.

(20) PRESMAN A.S., «Electromagnetic fields and life», Moscow, 1968.
POPP F.A., Ed. «Electromagnetic bio-information», Springer, 1978.

(21) ADEY W.R. Physiological Reviews, *61 (2)*, 435, 1981.
MARINO A.A., BECKER R.O., Physiological Chem. and Phys., *9*, 131, 1977, L.S. Taylor, Bioelectromagn., *2*, 259, 1981.

(22) SZENT-GYORGYI A., «Introduction to a sub-molecular biology», M. Decker, New York, 1960, Bioenergetics 533, 1973. «Towards a new biochemistry», Science, *93*, 609, 1941.
PETHIG R., «A review of some present molecular and sub-molecular physical concepts», J. Biol. Phys., *10*, 201, 1982.

(23) WOLKOWSKI Z.W., Ed. «Proceedings of Int. Symp. on interaction of non-ionizing EM radiation with living systems», May 19-20, 1979, Versailles, ISBN 2-904414-00-2, Paris, 1983.

(24) FROHLICH H., Advances in Electronics and Electron Physics, vol. 5, 1980. F. KAISER, Coherent oscillations in biological, systems, Z. Naturforch. *339*, 294, 1978.

(25) INYUSHIN V.M., «Luch lazera i urozhai», Kainar, Alma Ata, 1981.

(26) KAZNACHEYEV V.P., MIKHAILOVA L.P., «Sverkhslabiye izluchenya v mezdukletochnykh vzaimodeistvakh», Soviet Academy of Sciences, Nauka, Novosibirsk, 1981.
«Conditions for distant intercellular interaction during ultraviolet radiation» Bull. Exp. Medecine and Biology, *87*, 468 (1979), *89*, 337 (1980).

(27) KULIN E.T., «Bio-elektretnyi effekt», Nauka i Teknika, Minsk 1980.
GULAYEV P.I., «Electro-auragrams of man and animals», Nervnaya sistema, *9*, 159, 1968 ; «Polish bioelectronics», Zeszyty naukowe stow. Pax 3/20 1978, Warsaw.

(28) DEVYATKOV N.D., Radiobiologia, *21*, 163 (1981)
WEBB S.J., BOOTH A.D., Nature *218*, 374, 1968.

(29) POHL, H.A.
J. Bionerg, Biomembranes *13 (3)*, 149 (1981).
J. Th. Biol. *93*, 207 (1981).
Physics Letters *83A (3)*, 142 (1981).

(30) WOLKOWSKI Z.W., «Hierarchical perception of time and periodicity» 321, 1982, Cybernetics and Systems Research, North Holland Publishers, R. Trappl ; Ed., «Hierarchical aspects of synergy and coherence in biological systems», p. 22, 1987 in «Photon Emission from Biological Systems», World Scientific, Singapore, B. Jezowska, Ed. ISBN, 9971-50-151-1.

(31) CALLAHAN P.S., Applied Optics 7, 1425, 1968, *16*, 3098, 1978. «Tunning-in to nature», Devin Adair, 1976.

(32) FROHLICH H., FRAMER F., Ed. «Coherent excitations in biological systems», Springer Verlag series in biological sciences, 1983. Frohlich H., Ed. «Biological Coherence and Response to External stimuli» Springer Verlag (1989).

(33) NOWAK K., SZYMANSKI J., ZIOBRO E., «Low frequency detector of electrical fields and application in physiology». Report nr. 115, Institute of Electrical Metrology, Technical University of Wroclaw, Poland, 1981.

(34) KIRKIN A.F., «Non-chemical distant interactions between cells in culture», Biofizika *26 (5)*, 839, 1981.

(35) NAGL W., POPP F.A., «A physical electromagnetic model of differentiation», Cytobios *37*, 45, 1983. Numéro spécial : Experientia *7*, (1988).

(36) THOM R., «L'interprétation des morphologies spatio-temporelles: réductionnisme ou platonisme ?», Helvetica Physica Acta, *57*, 202, 1984.

(37) REID K.H., «Mechanisms of action of dental electro-anasthesia» Nature, *247*, 150-151.

(38) CHUNG S.H., DICKENSON A., «Pain, enkephalin and acupuncture», Nature, *283*, 243-244, 1980.

(39) WEINBERG A., «On the relation between information and energy systems», Interdisciplinary Science Reviews, 7, 47-52, 1982.

(40) FROHLICH H., «Evidence for Bose condensation-like excitation of coherent modes in biological systems», Physics Letters, 1975, *51A*, 1, 21-22.

(41) STAHL W.R., «Dimensional analysis in mathematical biology. I. General Discussion», Bull. Math. Biophysics, vol. 23, p. 355-376, 1961.

REVUE INTERNATIONALE DE SYSTEMIQUE
Vol. 2, N° 4, 1988, pp. 479 à 504

ARCHIVES

SUR LA RECHERCHE DES FILIATIONS EN PHYLOGENESE [1]

Pierre DELATTRE

On considère un ensemble d'individus en nombre quelconque, chaque sujet étant repéré par la lettre s indicée :

$$s_1, s_2, s_3 \text{ ---} s_u \text{ ----}$$

Chaque sujet est affecté d'un certain nombre de caractères :

$$A, B, C, D, \text{-----} N$$

et chacun de ces caractères peut prendre r états repérés par les entiers successifs :

$$1, 2, 3, \text{----------} \quad r$$

On admet les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : *Pour chaque caractère, la succession des états possibles (mutations) est celle de la suite repérée ci-dessus par les entiers successifs de 1 à r, sans omission et sans retour en arrière.*

Hypothèse 2 : *Les divers caractères considérés sont indépendants les uns des autres, du point de vue des mutations qu'ils subissent.*

1. Nous publions dans la rubrique «Archives» ce qui est en fait un manuscrit inédit de P. Delattre. Il s'agit d'une de ces nouvelles orientations suivies par cet auteur qui lui permettaient d'embrasser un champ toujours plus vaste de la Biologie Théorique, sa démarche inflexible et féconde le conduisant naturellement de l'axiomatique des systèmes de transformation aux interrogations les plus insistantes de notre temps, qu'il s'agisse de l'Evolution ou, dans ses ultimes publications, du problème du cancer. A ce titre il ne semble pas erroné de penser que le travail ainsi publié dans la Revue Internationale de Systémique en tant qu'article original puisse être simultanément consacré en tant qu'archive ! un mécanisme qui n'est d'ailleurs pas loin de certains processus de mémorisation. Signalons enfin qu'il convient de se reporter, après la lecture de ce travail, à l'annexe de l'article de Y. Bouligand concernant précisément cet inédit (E.B.-W.).

Revue internationale de systémique. 0980-1472 Vol. 2/88/04/417/26/$ 4.60/© Gauthier-Villars