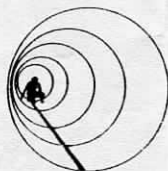


LA PENSÉE PHYSIQUE CONTEMPORAINE

science et humanisme en notre temps

édité par

Simon DINER, Daniel FARGUE, Georges LOCHAK



éditions augustin fresnel
1982

Cidex 739, Rouffignac de Moulidars, 16290 HIRSAC
Tél. (45) 96.40.17 - (45) 90.82.15

Physique et Biologie

BORIS RYBAK

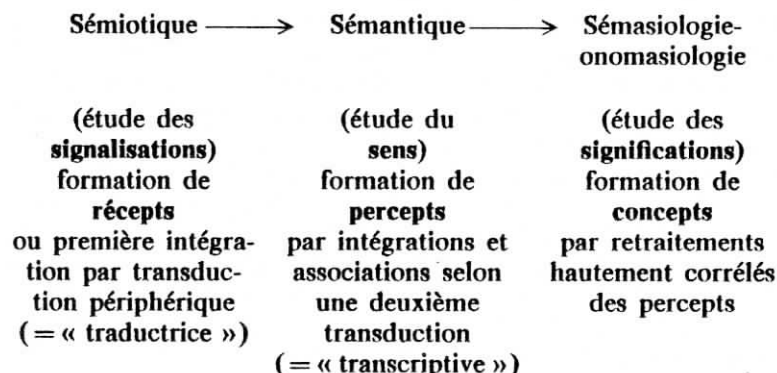
La situation peut se résumer ainsi : entre Physique et Biophysique il y a l'espace d'une inconnue – la Vie –, et cela change toute la problématique plus que ne font problème les forces gravitationnelles. Non seulement la Biophysique traite de la physique des animés tandis que la Physique traite des forces intéressant les inanimés, mais encore, comme Hommes, nous sommes vivants-pensants, i.e. observateurs – acteurs, sujets-objets tout à la fois.

Cependant ce n'est pas d'une opposition que l'on traite lorsqu'on cherche à établir la relation multiple qu'évoque le titre de ce travail, c'est au premier regard une inclusion puisque, d'évidence immédiate, la Nature est plus vaste que le vivant. En seconde intention

on s'aperçoit toutefois 1°) que physiologie s'énonce étymologiquement comme discours sur la nature – et d'ailleurs, au Moyen-Age le mot physicien signifiait médecin ; ce sens est resté en langue anglaise = *physician*, *versus* *physicist* (je ne traiterai pas ici des applications médicales de la Physique, l'ayant déjà fait dans le cadre de la Technobiologie) ; 2°) que les lois physiques initiales s'appuient sur l'observation par les sens et un retraitement par les associations cérébrales, de sorte que nous tombons aussitôt sur une autre inclusion – perception et interprétation de la Nature par le cerveau humain, c'est-à-dire grâce à cette fonction singulière qui est proprement nôtre, pour le redire : nous sommes vivants et nous dépendons en conséquence du **bios naturel**, et nous sommes de surcroît capables d'une certaine pensée exprimable par une signalétique muette mais expressive et surtout prononçable, de sorte que nous dépendons du **logos** ou **bios culturel**... Aussi m'exprimerai-je en biologiste de l'écogénétique **sapiens** qui recherche les **invariants** à partir des singularités et des perturbations stables ou non, plus que des stationnarités linéaires et de leurs universaux macroscopiques triviaux (ainsi le verre est, à la température ordinaire, un liquide surfondu dont la viscosité jusqu'à environ 400 °C en fait un solide ; l'état stable du verre est la dévitrification, phénomène qui apparaît au cours des temps – cas des verres antiques – ; il faudrait ici discuter de la cristallisation microscopique).

Il est certain que les aires, plus ou moins circonscrites, de représentation que nous avons dans notre cerveau et qui correspondent au nombre, somme toute limité, de nos sens jouent un rôle quasi-homéomorphique entre la source extra-cérébrale et son image cérébrale. Mon éminent Collègue Hecquen nous entretiendra sur ce point. Ce que je voudrais énoncer pour situer en ce lieu mon dire, c'est qu'au sein de cette **Anthropologie généralisée** – qui n'est pas anthropocentrisme, on l'a compris – les êtres et les choses ne deviennent compréhensibles qu'au sein de la **sémiologie scientifique**, i.e. la sémiologie concise et précise en son expression, expérimentée et rationalisée jusqu'à l'algorithme – démonstratif, et non seulement assertif, du langage universel qu'est la Mathématique. Le sens ou la signification est solution (voire racine) explicite d'implicite. Cette sémiologie se divise selon moi en trois niveaux aménagés en une chaîne des possibilités d'intégration de plus en plus abstraite :

Sémiologie



N.B.

1) Les guillemets pour **transcription** et **traduction** s'explicitent de la façon suivante : a) les messages du biotope ζ sont considérés ici comme matrices comparables aux ARN messagers mais organisatrices initiales d'acides-amino par trains de « spikes » ; b) les cellules en nombre donné et en fonctions intégratrices dominantes du système nerveux central sont considérées ici comme comparables à la donnée désoxyribonucléique référence Я (ces points qui situent deux philosophies de la ception – puisque ce pourrait être plausiblement l'inverse – feront l'objet de discussions et développements dans d'autres travaux) ;

2) La sémasiologie s'occupe des significations en partant du mot et en allant à la signification, tandis que l'onomasiologie procède à l'envers, partant de l'idée pour aller à l'expression ; ces deux procédures étant largement concourantes j'avancerai ici le terme compactifié de **sémasio-onomasiologie** qui, quoique de prononciation et d'écoute quelque peu barbares, rend bien compte du permanent mouvement de la pensée lorsqu'elle s'exerce et bien que l'on puisse penser sans mots et sans symboles mathématiques mais par images, sons musicaux ;

3) La sémasio-onomasiologie s'occupe donc des plus hautes fonctions intégratives nerveuses, ce, depuis le signal qui devient information primaire s'il est transduit – capable de l'être en bandes passantes par le cepteur périphérique considéré – jusqu'au sens voire la signification anagogique – qui transforme le littéral en spirituel, mystique ou hyperabstrait (= transcendant) – en passant par le raisonnable voire le rationnel des « têtes bien faites ». Pour rappeler un logicien de valeur un peu trop oublié, Edmond Goblot, je préciserai ce que je viens d'énoncer par cette citation de l'époque, donc allusive, et toute issue du chapitre « Extension et compréhension » de son *Traité de Logique* : « Le genre suprême a donc, en même temps que l'extension la plus vaste, la compréhension la plus riche », mais je voudrais cependant aller un peu plus loin en englobant dans ce genre suprême non seulement l'Idée de représentation mais surtout l'idéation d'invention, de création, de connexion cryptique photophore.

Dès lors on en vient à la psychologie de la physique – comme de tout autre connaissance. Donc on en vient primordialement à la **biologie de la physique** qui pose explicitement deux problèmes liés : 1^o) celui du physicisme, cette doctrine – et qu'elle soit « réductionniste ou non, voilà la question – qui tente – ou tentait ? – d'expliquer tous les phénomènes de la vie par les lois de la physique, 2^o) celui de la Biophysique, sous-ensemble ou « anacoluthie » de la Physique. En bref :

ces problèmes associés relèvent de la nature de notre cerveau puisque

s'il était considérablement plus puissant que ne l'est celui des plus puissants penseurs sans doute verrait-on les phénomènes proportionnellement avec la même distance cladique que nous pouvons aujourd'hui les voir par rapport au Cynocéphale par exemple. Et la loi de Fechner (que j'ai déjà discutée dans *Advanced Technobiology*, NATO-ASI, 1978), si elle dépend de la saturation de nos chaînes ceptrices-intégratrices pour les fortes excitations sensori-perceptuelles, verrait son domaine de réponse linéaire agrandi et contribuerait via la constance de la sensibilité différentielle relative des cepteurs unitaires (loi de Bouguer-Weber) à l'établissement d'une Psychophysique non instrumentée qui produirait des instruments de mesures – outils perfectionnés de nos cepteurs – donc une psychophysique instrumentée en quasi-parfaite

homéomorphie avec le réel perçu pour des plages métriques inaccessibles à nos actuelles procédures, le biais biolagarithmique de Stevens $\log S = \log C^{\text{te}} \text{ métrique} + n \log E$ ($n \rightarrow$ la pente) au lieu de $S = k \log E$ fechnérien n'apportant rien de bien « consolateur » quant à notre humaine condition métrologique. Remarquons que nous nous trouvons là au cœur de la dispute philosophique, à retombée **politique**, qui sépare idéalistes et réalistes et leurs variantes, disons au cœur de la dispute entre Descartes qui concevait la perception d'un morceau de cire plus comme une « inspection de l'esprit » que comme une sensation et un Kant qui, dans la lignée du « Timée » de Platon, soutenait une sorte de **métaphysique** du fait de conscience divisible non en faits de conscience plus simples mais en éléments isolément éparpillés quoique combinables activement entre eux pour construire démiurgiquement ce fait de conscience (le moi empirique du comprendre dépend du transcendantal corrélateur). Cela aboutissait chez Schelling à la compréhension du macrocosme vivant, constamment réjuvénescant, conduite par une construction rationnelle du réel, puis chez Auguste Comte à l'organisation rationnelle des **connaissances**. Après quoi c'est Kockelmans, Husserl : la phénoménologie qui conçoit la primauté absolue de la relation sujet-objet dans la perception pour « clore » la dispute entre les idéalistes qui donnent priorité au sujet et les matérialistes qui la donnent à l'objet.

Mais ils se pourrait aussi, en tout cas c'est ce à quoi nous nous employons présentement, que les propriétés intrinsèques qui caractérisent notre représentation du monde – comme physicien admettant ce que j'ai nommé la **subjectivité normée** – représentent vraiment le lieu de « bifurcation de la pensée » de Whitehead. Et, ce, par la nature, encore inconnue, de la diversité spécifique et de la variabilité individuelle fédérées par des invariants qui font l'être vivant de la Biophysique différent de l'être inanimé de la Physique.

Rien peut-être n'illustrera mieux ce problème des représentations qu'une étude diachronique sur les deux éléments fondamentaux qui forment les coordonnées primordiales : **l'espace et le temps** qui restent en effet au centre des préoccupations des Physiciens comme le montre, encore tout récemment, le texte d'Ilya Prigogine paru dans le n° 13 (printemps 1980) de la Revue « Prospective et Santé » consacré à « La Physique, le temps et le vivant ».

L'espace, composante d'intensité ou de capacité, et le temps,

composante d'extensité de tout univers (micro-, macro-ou méga-) posent immédiatement le problème de leur statut, de leur pouvoir de juridiction qui admettrait ou non une sorte d'exterritorialité à l'âme humaine comme aux Lois de la Thermodynamique puisque si, comme l'a écrit Alexandre Koyré : « Pour Einstein, comme pour Aristote, le temps et l'espace sont dans l'Univers et non pas l'Univers en eux », Prigogine fait remarquer (p. 31) que « nous ne pouvons plus nous satisfaire de l'opinion (vivement soutenue par Einstein notamment) selon laquelle les lois fondamentales ignorent le temps ; que le temps n'intervient que plus tard ; grâce à quelque approximation ». Prigogine fait sans doute allusion à l'œuvre d'Einstein « La Relativité et le problème de l'espace » (Paris, Payot) où il est écrit (p. 177) : « D'après la Mécanique classique et d'après la théorie de la relativité restreinte, l'espace (l'espace-temps) jouit d'une existence indépendante vis-à-vis de la matière ou du champ. Selon la théorie de la relativité générale par contre, l'espace ne jouit pas d'une existence indépendante vis-à-vis de « ce qui remplit l'espace » et dépend des coordonnées ». Disons, en passant que ce que l'on nomme aujourd'hui « chronobiologie » est la toujours vivante **homéostasie** de Cannon et la **régulation du milieu intérieur** de Claude Bernard et que, de toute façon, on ne saurait évacuer le temps d'une biologie ou d'une autre, le temps rendant d'ailleurs **affines** les coordonnées x y z t .

Il faut remarquer que – sauf dans les sociétés primitives – la notion d'objet est première par rapport à celle de sujet. C'est essentiellement après Desargues et surtout Klein qu'à partir de l'objet à formes géométriques – agraires des Egyptiens, célestes des Sumériens et des Babyloniens et épistémologiques des Grecs anciens – se constitue en Occident mathématique la notion d'espace venue de réflexions sur le vide et l'étendue. Précisément les Babyloniens ne repéraient pas seulement la fixité des constellations, ils établissent un calendrier de 354 jours formant 12 mois et ils utilisent pour ce faire la marche des planètes, c'est-à-dire des éléments de l'espace. Le temps uranométrique est la mesure discrétisée du mouvement d'objets mais c'est une notion seconde parce qu'abstraite ainsi qu'en témoignent les civilisations récurrentes panchroniques (« fossiles vivants ») dont celles de l'Océanie. Chez l'Homme primordial, avant toute grammaire c'est la désignation qui constitue le nommé ou signalétiquement l'indiqué ; le système est donc déictique et l'icono-moteur s'y greffera formant

un procédé hyper-descriptif des êtres, des choses, des positions, des mouvements. Un saut, dans le temps et la géographie, nous amène aux très intéressantes études linguistiques (la Linguistique est une branche de la Biologie) rassemblées par P.F. Lacroix (« *L'expression du temps dans quelques langues de l'Ouest africain* » ; SELAF, Paris, n° 29). On peut notamment y relever les points suivants qui sont autant de repères pour une représentation corrélée du temps et de l'espace mais selon des approximations et concrétisations qui caractérisent le **temps-vécu** – fonction des activités naturelles et humaines. Le temps-en-soi, objectif, vient ici d'une influence de l'Islam et la notion d'heure, etc. des colons venus d'Europe. Ce rythme d'activité agricole fait que, **a contrario**, on aboutit « chez les Bedik et les Samo... à des calendriers de six mois séparés par une période morte de durée égale, correspondant à la saison sèche... Corrélativement, le retour des saisons, celui du jour et de la nuit, ont favorisé la conception d'un temps cyclique plutôt que celle d'un temps linéaire... Parmi les autres conséquences de cette conception subjective du temps, on notera l'absence de corrélation entre les concepts de « jour », de « mois » et d'« année »... Temps subjectivement conçu en fonction des activités humaines, temps saisi comme un cycle clos... sont inséparables de la notion de durée dont l'amplitude relative dispose la plupart du temps de possibilités d'expression fort riches. Mais il semble, par contre, que le besoin de caractériser des moments de la durée n'ait été ressenti qu'ultérieurement... En revanche temps et espace sont, au moins au niveau de l'expression, étroitement associés » (cf. p. 61 le texte de M.P. Ferry sur les Basari où il est remarqué que « *le temps lui-même n'est pas nommé* »). Pour ce qui a trait aux « aspects » de l'espace en Europe (SELAF, n° 33, F. Alvarez-Pereyre éd.) le renvoi sur le travail de J. Piaget (« La formation du symbole chez l'enfant » ; Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1968-1970) est particulièrement bien venu (p. 25) : « l'espace et le temps sont... des systèmes d'opérations correspondant univoquement aux opératrices logico-arithmétiques, mais distinctes par leur échelle... Seulement, à la différence des schèmes logico-arithmétiques, il s'agit de schèmes relatifs aux objets et non pas à leurs ensembles. Par conséquent, les images résultant de l'accommodation à ces objets se trouvent dans une toute autre situation, tant par rapport à ces opérations que par rapport à celles qui portent sur les classes, les relations logiques et les nombres... Dans ce dernier cas en effet,

l'image d'un objet n'est qu'un symbole de l'ensemble... utile parfois mais inadéquat et servant de simple adjuvant au signe verbal. Dans le cas des opérations spatio-temporelles, au contraire, l'image est à l'échelle de l'opération, puisque celle-ci porte sur l'objet lui-même... ».

Ce qui vient d'être mis en contact, dans les rapprochements auxquels je procède, trouve d'ailleurs de nombreuses illustrations, c'est-à-dire des traces pérennantes, dans les cas grammaticaux, par exemple les « cas locaux » qui distinguent l'intérieur et l'extérieur de quelque chose (position ; *inessif* : ... travaille dans la forêt et *adessif* : le livre est sur...) et les « cas de mouvement » centrifuge (*illatif* : ... va dans la forêt et *allatif* : ... met le livre sur...) et ceux du mouvement centripète (*élatif*... vient de la forêt et *ablatif* : ... le livre tombe de la table ; cf. l'article de F. de Sivers, « L'Idée de l'espace dans la flexion estonienne... », loc. cit.). Psychophysique attestée dans la morphosyntaxe, ce me semble un fil conducteur dans l'élaboration historique des notions désormais rigoureusement cernées – seulement cernées ! – de temps et d'espace en Physique contemporaine. Les logiques sont vraisemblablement aussi nombreuses que les ethnies, surtout la logique de l'espace marquée par son incidence dans la langue. Cependant l'œuvre de métrologie scientifique entreprise et constamment affinée repose sur les avantages oecuméniques qu'il s'agit d'inculquer pour normaliser les subjectivités.

Dans le droit fil de notre comparaison entre Physique et Biophysique, il m'a paru essentiel d'attirer l'attention sur la fonction généralisatrice – donc pondératrice en l'occurrence – des Mathématiques que l'on doit traiter aujourd'hui dans les sciences expérimentales selon un langage aussi rigoureux que celui dont fait usage notamment Walter Thirring (« Classical dynamical system » ; Springer Verlag, Wien). Je le fais en pensant, de surcroît, démystifier certains aspects de la cristallographie biochimique. J'intitulerai cette section de mon texte :

Spiralisation, hélice, torsion.

Depuis le célèbre travail clé de J.D. Watson et F.H.C. Crick « A Structure for deoxyribose nucleic acid » publié dans *Nature* (April 25, 1953), les biologistes se sont engagés dans la physique de la double hélice, dans sa biophysique, sa métaphysique et parfois sa pataphysique, certainement parce que c'est là que réside la fascinante hérédité. C'est un fait que toutes les autres formes et

mouvements spéciaux n'ont pas attiré tant de spéculations, provoqué tant d'erreurs, même dans le domaine de l'Evolution (embryogénèse et phénotypes de *Spiralia*) ou des galaxies de forme spirale ou des sons – verbe et musique – dans la mesure où le système cochléaire de l'oreille interne est impliqué. Toutefois la problématique des structures-fonctions spiralisées recouvre un nombre considérable de phénomènes *de facto*. Je récapitulerai brièvement quelques références.

Univers : Œuvres complètes de Laplace, Gauthier-Villars, Paris ; L. Schwartz, Les Tenseurs, Hermann, Paris (1975) ; P. Duhem, Le Système du monde (de Platon à Copernic), Hermann, Paris (1958) ; A. Einstein, Réflexions sur l'électrodynamique, l'éther, la géométrie et la relativité, Gauthier-Villars, Paris (1972) ; D. Gans, An Introduction to non-Euclidian Geometry, Acad. Press, New York & London (1973) ; L. Landau & E. Lifschitz, Théorie des champs, Mir, Moscou, 3^e éd. (1970) ; S. Chandrasekhar, Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, Clarendon Press, Oxford (1961) ; D.C. Leslie, Developments in the Theory of Turbulence, Clarendon Press, Oxford (1973) ; N. Minorsky, Théorie des oscillations, *Mémor. Sc. Math.*, Gauthier-Villars, Paris (1967) ; T. Vogel, Théorie des systèmes évolutifs, Gauthier-Villars, Paris (1965) ; B. van der Pol, Oscillations sinusoïdales et de relaxation, *L'Onde électrique*, Paris (1930), 245-312 ; P. Glansdorff & I. Prigogine, Structure, stabilité et fluctuation, Masson, Paris (1971) ; R. Thom, Stabilité structurelle et morphogénèse, Benjamin, Reading, Massachusetts (1972) ; E.C. Zeeman, Catastrophe Theory, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts (1977) ; C. Hyver, Remarques sur le passage d'un comportement qualitatif à un autre, *Bull. Gr. Etude Rythmes biol.* (1977), 9, 77-102 ; N. Kuiper, Minimal Total Absolute Curvature for Immersions, *Inventiones Math.* (1970) 10, 209-238 ; conception d'Einstein du mouvement de l'électron de l'hydrogène dans le champ du noyau : la surface de Hamilton-Jacobi est un hélicoïde (sa ligne de plus grande pente est aussi une hélice) ; « hélicité » dans les processus turbulents (H.R. Moffatt, 1970 ; R.H. Kraichman, 1973).

Vie : J.D. Watson, Molecular Biology of the Gene, Benjamin, New York, 2nd ed. (1970) ; J.H. Taylor ed., Selected Papers on Molecular Genetics, Ac. Press, New York & London (1965) ;

D'Arcy W. Thomson, *On Growth and Form*, Cambridge Un. Press, 2nd Ed. (1942); M. Calvin & M.J. Jorgenson *introduc.*, *Bio-organic Chemistry*, Freeman, San Francisco & London, from *Scient. American* (1968); S. Bram, *A Double Coil Chromatin Sub-Unit Model*, *Biochimie* (1975) **57**, 1301-1306; D.S. Gilbert, *Helical Structure of Myxicola axoplasm*, *Nature New Biology* (1972) **237**, 195-198; M.J. Tilby, *Helical Shape and Wall Synthesis in a Bacterium*, *Nature* (1977) **266**, 450-452; F.M. Pohl, *Empirical Protein Energy Maps*, *Nature New Biology* (1971) **234**, 277-279; D.A.D. Parry, *Double Helix of Tropomyosin*, *Nature* (1975) **256**, 346-347 (with W. Longley replies); F. Houssay, *La Forme et la vie*, Reinwald-Schleicher, Paris (1900); T. Cahn, *La Vie et l'œuvre de Geoffroy Saint-Hilaire*, P.U.F., Paris (1962); J.S. Huxley, *Problems of Relative Growth*, Methuen, London (1932); E.B. Wilson, *The Cell in Development and Inheritance*, McMillan, London (1904); A. Portmann, *La Forme animale*, Payot, Paris (1961); J. Gray, *A Textbook of experimental Cytology*, Cambridge Univ. Press (1931); C. Raven, *Embryologie expérimentale de l'œuf de Limnée*, Coll. int. C.N.R.S. Morphogénèse, Paris (1951); C. Dawydoff, *Traité d'Embryologie comparée des Invertébrés*, Masson, Paris (1928); R. Bentley, *Ogston and the Development of Prochilarity Theory*, *Nature* (1978) **276**, 673-676; structures « cholestériques » (cristaux liquides); Ke-Chun Lin, R.M. Weis H.M. Mc Connell, *Induction of helical liposomes by Ca²⁺ médiatet et intermembrane binding*, *Nature* (1982), **296**, 164-165.

Divers: H. Weyl, *Symétrie et mathématique moderne*, Flammarion trad. (Paris 1964) of: *Symmetry*, Princeton Univ. Press (1952); M. Gardner, *The Ambidextrous Universe*, Basic Books, New York & London (1964); R. Vallée, *Quelques aspects de l'étude mathématique des formes vivantes*; *Introduction Sém. Biomorphologie*, Ecole Prat Htes Et. 3^e Section, Paris (1978); R. Duncan & M. Weston-Smith ed., *The Encyclopaedia of Ignorance*, Pergamon Press, Oxford (1977); J. Bosquet, *L'Hélice des quintes de Pythagore et la formation des gammes musicales*; *Forum*, Un. libre Bruxelles (1972) **26**, 26-31. Etc.

Cherchant à trouver une explication du processus, G. Oster [in: *Courrier de l'UNESCO* (1974) **27**, 12] n'y parvient pas. Il est de fait que l'on peut étudier ΠΕΡΙ ΕΛΙΚΩΝ d'Archimède, des livres et des livres sur la mécanique des fluides (L. Landau & E. Lifschitz,

Mir, Moscou, 1971 ou A. Foch, A. Collin, Paris, 1941, ou...) sans trouver trace d'un Dieu musicien, dirai-je, même si nous faisons appel à la législation de Curie : « Un corps tend à prendre la forme qui représente une énergie superficielle minimum compatible avec les formes orientantes ». Peut-être avons-nous une meilleure approche en regardant du côté du Principe de Fermat du moindre temps et de celui, de Maupertuis, de la moindre action [« Pour passer dans l'intervalle de temps $t_1 - t_0$ d'un état à un autre, un système de corps doit prendre un chemin tel que la valeur moyenne de l'« action » (différence entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle du système) pendant le temps considéré soit aussi petite que possible »]. Partant du Principe de Fermat nous sommes aussi tentés de mettre en avant le calcul des variations qui eut son départ dans le problème brachistochrone d'un ensemble de fonctions (et non de points) de Jean Bernouilli (1696).

Comme toujours la Thermodynamique a sa place dans ce domaine. Considérons simplement que, éliminant de notre stratégie et tactique toutes sortes d'idéalités et schématismes pour approcher la réalité, maximum d'entropie ne signifie pas entropie totale et ceci conformément au Second Principe, et ensuite au Premier ; certes selon les nombreux degrés de dégradation de l'énergie conservative, un système peut atteindre différents stades ou grades d'organisation – en accord avec le concept de dissipation ; cependant dans un bio-système les enzymes frayent des voies économiques pour édifier du bio-matériel, ADN inclus. Dans la mesure où la théorie des catastrophes est impliquée, une catastrophe ordinaire dans un espace-temps localement à 4 dimensions devrait être considérée comme ayant une porteuse historique, i.e. les dimensions spatio-temporelles globalement parlant, de telle sorte que la catastrophe considérée elle-même serait soumise à des déformations variables plus ou moins mineures.

Mais j'attirerai pour finir l'attention sur les travaux décisifs de Camille Jordan : 1) *Essai sur la géométrie à n dimensions*, a) C.R. Acad. Sc. Paris (1872) 75, 1614-1615, b) Bull. Soc. Math. France (1875) 3, 103-174 où l'auteur dit : « Tout mouvement plan se réduit à une rotation autour d'un point » et surtout : « Tout mouvement dans l'espace est hélicoïdal », et pour finir : « Tout mouvement est une rotation, ou une translation, ou un mouvement hélicoïdal » ajoutant (90) : « Dans l'espace à $2\mu + 1$ dimensions, le mouvement

hélicoïdal est la règle, et les autres sont des cas particuliers (... μ est tel qu'il provient du nombre n , coefficient d'une forme canonique de substitution cinématique, pair = 2). Il nous faut lire et relire ces merveilleuses Leçons et notamment la « Notice sur les travaux de M. Camille Jordan » (Gauthier-Villars, Paris, 1881) où, dans la Section « Géométrie cinématique », subsection « Groupe de mouvements », notre vénérable aîné écrivait :

« Déterminer les diverses manières dont un système de molécules peut être superposable à lui-même. La belle théorie cristallographique de Bravais repose sur la solution qu'il a donnée de ce problème dans le cas particulier où toutes les molécules sont orientées de même et disposées en réseau. En traitant la question dans toute sa généralité, j'ai obtenu les résultats suivants :

« Les groupes exclusivement formés de mouvements de translation sont au nombre de neuf ; leurs divers mouvements résultent de la combinaison de trois translations au plus.

« Les groupes exclusivement formés de rotations sont au nombre de huit ; leurs rotations sont toutes concourantes.

A tout groupe G contenant des mouvements hélicoïdaux on peut faire correspondre un autre groupe g formé de rotations concourantes. Les groupes G peuvent être répartis en six catégories, suivant la nature du groupe g qui leur correspond ».

Il est intéressant à cet égard de remarquer que, dans son ouvrage « Les Tenseurs », Laurent Schwartz écrit à propos du cas des liaisons avec frottement de puissance non nulle : « Toute loi physique réduisant l'action physique à son torseur, alors que le frottement fait intervenir des déformations, est forcément approchée. C'est donc l'écriture même de l'équation fondamentale avec des torseurs qui est en cause dans ce cas-là ».

Nous sommes désormais à même de poursuivre l'examen de la description biophysique en la comparant à celle de la Physique. Nous le ferons en plusieurs cas de façon allusive ou implicite étant donné le temps qui nous est imparti. Mon propos s'en tiendra à deux aspects qui me paraissent essentiels et d'ailleurs corrélés : A) la théorie des représentations, B) la biothermodynamique.

A. – SUR LA THEORIE DES REPRESENTATIONS

Ce qui distingue déjà le vivant de l'inerte c'est d'une part qu'il se présente comme un espace reproductible (voire auto-reproductible) structurellement complexe **mésocroscopiquement fini** qui admet, et c'est là le facteur commun de la Biophysique et de la Physique, un « infiniment » petit de nature quantique pour les atomes – et les molécules – constitutifs (d'où l'universalité des concepts de **quantification de l'énergie** et de **probabilité de présence électronique pour un instant donné et certaines régions de l'espace**). Ce qui semble distinguer d'autre part le vivant de l'inerte c'est qu'il paraît évoluer dans l'**euclidien**¹. Or il semble, depuis les remarquables travaux d'Henri Poincaré sur les fonctions fuchsiennes, que cela pourrait être aussi bien dans le **lobatchefskien** [moyennant le fameux modèle avec changement de notations – (Fig. 1) la droite

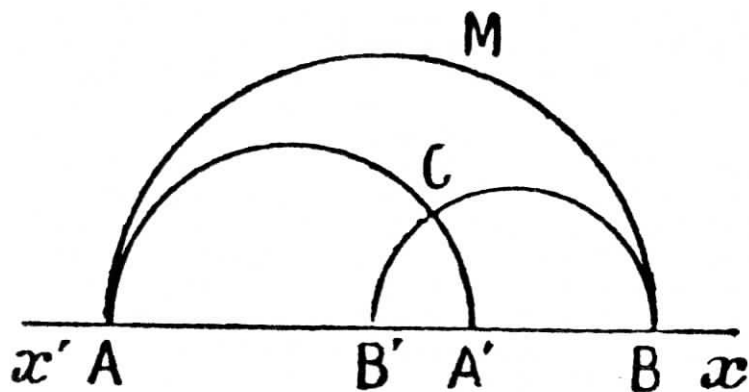


Fig. 1

1. N.B. Les 5 groupes d'axiomes d'Euclide : 1) d'appartenance, 2) d'ordre, 3) de congruence, 4) des parallèles, 5) de continuité.

étant une demi-circonférence – concernant les demi-circonférences centrées sur une droite (xx') rectilinéaire, elle, d'un plan dont une (ACA') rencontre une autre (BCB') en C hors de la demi-circonférence AMB (les droites parallèles sont deux demi-circonférences se rencontrant en un point de xx'), etc. La physique qui découle du lobatchefskien admet en plus des faisceaux de droites concourantes et des faisceaux de droites parallèles, des faisceaux de droites perpendiculaires à une même droite, et elle est admissible pour les petites distances. Soit, encore, une géométrie semi-euclidienne telle que par un point pris hors d'une droite on puisse mener, comme en lobatchefskien, une infinité de parallèles à cette droite mais où les théorèmes euclidiens sont valables (cf. **Fondements**, chap. II, de Hilbert). La géométrie riemanienne découle elle aussi d'un changement de notation de l'euclidien et elle lui est également pertinente ; le vivant s'accommode d'un espace où la droite rectilinéaire n'est pas prolongeable indéfiniment. En somme il est plausible de traiter le vivant selon plusieurs axiomatiques géométriques classiques : **parabolique** (euclidienne), **hyperbolique** (lobatschefskienne), **elliptique** (riemanienne), **non-archimédienne** (exclusion de l'axiome de continuité fondé sur la congruence) pour laquelle « il ne résulte pas de l'existence par un point d'une infinité de parallèles à une droite que la somme des angles d'un triangle est inférieure à deux droits, non-legendrienne¹ – » dans laquelle on peut mener par un point une infinité de parallèles à une droite et où les théorèmes de la géométrie riemanienne sont valables, **métriques projectives de Klein-Cayley** aménageant les choses par les coordonnées projectives d'une droite. Cependant le principe d'hétérogénéité de l'espace biotique que j'avance doit, de toute façon, introduire des modifications qui sont autant de complexifications (cf. B.R., NATO-ASI 1979).

Pour l'instant admettons que l'espace vivant soit un compact découlant de l'axiome d'appartenance d'Euclide (il existe au moins 4 points non coplanaires) de telle sorte qu'il soit triangulable (3-simplexe du tétraèdre unitaire volumique). Dans ces conditions, il est homéomorphe à un complexe simplicial, c'est-à-dire à un

1. Rappel : 1^{er} théorème de Legendre : « La somme des angles d'un triangle est égale ou inférieure à deux droits » ; 2^e théorème de Legendre : « Si dans un triangle quelconque la somme des angles est égale à deux droits, la somme des angles de tout triangle est égale à deux droits ».

sous-espace d'un espace euclidien constitué d'un ensemble de « points » réunion d'un nombre fini de simplexes de dimension variable de telle sorte que l'intersection des deux simplexes soit vide soit face de dimension maximale de chacun d'entre eux. Il est donc tentant en Biophysique d'utiliser les groupes d'homologie puisque la Biologie semble offrir un champ exemplaire – en embryologie, en cytologie, en histologie notamment – de structures qui se manifestent et se développent selon des procédures où une courbe simple forme le « bord commun » – d'une courbe possédant un intérieur – mais aussi d'offrir d'autres exemples de type torique ou bitorique (chromosomes de certains êtres, à certains stades caryotiques, parabasale de *Joenia annectens*, etc.), tel qu'une courbe fermée sur une surface ne divise pas celle-ci en deux régions disjointes – et l'on sait, cela est classique, que le nombre maximal de courbes fermées le long desquelles on peut découper leur surface sans la diviser en deux ou plus régions disjointes constitue un **invariant topologique**, d'où une typologie, voire une taxinomie à venir des biosurfaces topologiquement différentes. Or, précisément, une courbe fermée simple est homéomorphe à la circonférence d'un cercle, mais dès que l'on aborde les surfaces la multiplicité des variétés de formes possibles est si grande que la classification reste ouverte, d'où l'idée de Poincaré (*Analysis situs*, 1895) de diviser la surface considérée en un nombre fini de triangles curvilignes et de dénommer les triangles qui composent cette surface, ce qui permet de considérer objectivement une telle surface par des combinaisons linéaires à coefficients entiers des triangles plongés dans l'Espace E (la procédure étant généralisable au tétraèdre ou à des simplexes à un nombre quelconque de dimensions). On arrive ainsi à considérer en R^3 quatre points linéairement indépendants, non-coplanaires – ou, pour trois points, non-colinéaires. **Plus généralement** si $x_0, x_1, \dots, x_p, p + 1$ (matrice de rang $p + 1$) points linéairement indépendants de l'espace euclidien n -dimensionné, le **p -simplexe** $[x_0, x_1, \dots, x_p]$ est l'ensemble de tous les points de coordonnées $(c^1, c^2, \dots, c^n)$ tel que les points du triangle $x_0x_1x_2$ représentent le 2-simplexe euclidien $[x_0x_1x_2]$ et que le 3-simplexe $[x_0x_1x_2x_3]$ est le tétraèdre de sommets $x_0x_1x_2x_3$ (celui du vivant qui est volumique, toujours), etc. Il est de quelque importance de considérer au moins les deux propriétés suivantes des simplexes euclidiens pour mieux en lancer l'examen en Biophysique – et aussi pour la formalisation – que j'ai nommée **moteur informationnel** –

des biosystèmes : 1°) la **propriété de convexité** telle que tous les points du segment joignant deux points d'un simplexe euclidien appartiennent au simplexe, 2°) la propriété, qui découle de la précédente, telle que tout simplexe euclidien est constitué de chaque point joignant chaque sommet à tout point de la face opposée, et inversement.

Si se trouve rappelé ici un certain nombre de caractéristiques des simplexes euclidiens, ce n'est pas tant pour discuter par exemple le fait que le périmètre d'un triangle – ou la surface d'un tétraèdre – étant fermé, n'a pas de bord, ni même pour attirer l'attention des biophysiciens sur le fait que les simplexes objet et image sont ou non dans le même espace euclidien – voire dans des espaces euclidiens de même dimension (par exemple si le simplexe image est de dimension **inférieure** à celle de l'objet résulte d'une **application linéaire dégénérée**, ce qui me paraît intervenir dans la réception cérébrale de l'objet), mais pour en venir aux coordonnées **barycentriques** communément symbolisées par $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_p$:

si $p = 1, 2, 3$, le point du simplexe $[x_0, x_1, \dots, x_p]$ est le centre de gravité (= barycentre) des masses (ou « poids ») $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_p$ des sommets $x_0, x_1, \dots, x_p$.

Or si la mégaphysique considère l'espace comme homogène et isotrope, à coup sûr la biophysique s'exerce sur un matériel **hétérogène et anisotrope** et, là encore, le vivant partage une « originalité » avec l'espace quantique, constitué d'états discrets complexes. Je voudrais à ce propos citer un passage du texte très agréable à lire par sa concision et son style de V.F. Weisskopf : « *What is quantum mechanics* » (Bull. Am. Ac. Arts & Sc. 1980, n° 7) : « Here the so-called « Pauli exclusion principle » enters. It states that within any atom never more than two electrons may vibrate in the same pattern, and those two must have opposite spin. Therefore, while the hydrogen atom with its single electron vibrates in the simplest possible pattern, other atoms exhibit more complex patterns even in their fundamental states. Each additional electron or pair have to assume the next higher pattern in the scale. This accounts for the variety of nature, because otherwise the electrons in all atoms would vibrate in the lowest pattern and all elements would have roughly the same properties; the world would not be as beautiful

as it is. The Pauli principle explains why neon with ten electrons is so different from sodium with eleven. The electrons in the neon atom vibrate in five patterns, and as it happens, these five patterns fit together in such a way that the atom has a rounded shape, without any indentations or elevations. That is why neon is chemically inactive. As a result of its additional electron vibrating in a different pattern, the sodium atom is irregular and therefore chemically active. We now understand that, when an atom's electron patterns are nicely rounded, the so called closed atomic shells, the atom will be an inactive gas; the atom with the next higher number of electrons can be expected to be a chemically active metal with very different properties. The additional electron is the reason for the high electric and thermal conductivity of metals. That is why they feel cold when we touch them. The body heat is quickly carried away by those additional electrons... The reason why oxygen combines so easily with hydrogen to give water is that oxygen atoms have eight electrons, which vibrate in four patterns that form a round shape with two holes in it (two electrons more would give neon, the truly round form), into which fit the two single-electron hydrogen atoms. I like to refer these electron pattern as the primal patterns of nature. If one is given the number of electrons, he can, by combining the various patterns of vibration, deduce what kinds of properties a particular atom will have ».

Le blos est d'autant plus hétérogène que l'espace vivant est orienté comme l'indiquent de façon parfaitement univoque : 1° (a) le **gradient animal-végétatif** de l'ovule d'Oursin si bien étudié particulièrement par l'Ecole embryologique suédoise, (b) le **mode-lage embryogénétique** qui fait que nous ne sommes pas tous des sosies-morulas et, 2° la **hiérarchie cérébro-spinale** mise en évidence par H. Jackson. De sorte que le cas qui nous occupe est proprement celui de l'existence d'une « direction privilégiée de l'espace » dont parle Einstein (« Quatre conférences sur la théorie de la relativité », Coll. Discours de la méthode, Gauthier-Villars, Paris, 1976) qui précise que « s'il existait une direction privilégiée il serait avantageux, en vue d'obtenir une description plus simple des lois de la nature, d'orienter le système de coordonnées d'une manière déterminée par rapport à cette direction ».

Pour donner une idée des dimensions distinctes cytologiques et ultra-structurelles, disons que chez les Ascarides (Nématodes) les

cellules ont de 3 à 4 mm de long tandis que le virus de l'herpès a 150 m μ , que celui de la fièvre aphteuse n'en a que 10 et que les mitochondries filamenteuses peuvent n'avoir que de 3 à 6 μ avec des membranes de l'ordre de 70 à 160 Å – ce qui est à peu près le diamètre des chromosomes : 70 à 100 Å à comparer aux quelque 200 Å des ribosomes. Bref, cette grande diversité de tailles constitutives locales et de l'organisme global fait qu'on ne peut rendre compte de la géométrie dynamique de la cellule vivante dans le cadre d'un espace euclidien *sensu stricto*.

C'est pourquoi, guidé par mon étude de ce classique qu'est l'ouvrage de Maurice Fréchet (« Les Espaces abstraits »), j'ai été frappé de la préoccupation que montraient certains de nos aînés et en particulier Ben-Zion Linfield qui, dès 1922, a présenté à l'*American Mathematical Society* des travaux sous les titres « Particle Geometry » et « A Contribution to particle geometry », puis qui, après avoir défendu une thèse à l'Université de Harvard sur ces sujets, a soutenu en 1925 devant la Faculté des Sciences de Strasbourg une thèse intitulée « Espace discret paramétrique et non-paramétrique ». Dans ces recherches, pour se rapprocher de la conception physique de l'espace, Linfield a construit un **espace discret** formé d'une quantité dénombrable d'éléments (particules) : « c'est un ensemble d'éléments de nature quelconque où la relation de contact est remplacée par une relation plus générale... laissée indéterminée... qui pour deux éléments distincts a lieu ou non (sans considération de l'ordre de ces éléments). Selon qu'elle a lieu ou non ces éléments sont **conjugués** (se touchent) ou non... Dans l'espace de Linfield l'opération de dérivation des ensembles est distributive $(E + F)' = E' + F'$... l'opération de dérivation $E' = K(E)$ doit satisfaire à la condition suivante : si un ensemble E appartient à un ensemble F, le dérivé E' de E appartient au dérivé F' de F ».

Linfield introduit deux nouvelles opérations $P|Q$ et P/Q : « $P|Q$ désigne tous les éléments de P qui ne sont pas en même temps éléments de Q et dont chacun touche au moins un élément de Q ; P/Q désigne tous les éléments de P qui ne sont pas en même temps éléments de Q et dont chacun touche tous les éléments de Q ». De plus : « ... nous pouvons définir un espace discret S connexe

par la condition que, R étant un sous-espace quelconque de S tel que $S - R \neq O$, on sait $S|R \neq O$; l'interprétation physique d'espace discret connexe étant qu'il ne peut être divisé en deux parties P et Q , telles qu'aucune particule de P ne touche une particule de Q , et inversement ». Ou : « ... un espace discret S est connexe par la condition qu'à tout couple de deux éléments A et B de S il corresponde un arc discret... l'interprétation physique de cette définition d'un espace connexe discret étant évidemment que l'on peut aller à travers cet espace d'une particule quelconque à une autre particule sans avoir à faire des sauts », et Linfield ajoute, en note infrapaginale, que « ces définitions d'un espace discret connexe sont analogues (mais non équivalentes) respectivement aux définitions d'un continuum par Jordan et Cantor, « si (quand P et Q sont des espaces binaires) nous désignons par $P|Q$ le sous-espace de $P - PQ$ dont chaque point est un point d'accumulation de Q dans $P + Q$, nous pouvons énoncer la définition d'un continuum de Jordan de la façon suivante : un espace (non vide) S est un continuum (est connexe) si pour tout sous-espace (non vide) R de S , $S - R \neq O$, on a $(S - R)|R + R|(S - R) \neq O$. Il est facile de démontrer que si l'on prend cet énoncé pour la définition d'un espace discret connexe, elle est équivalente aux deux définitions déjà données ». Plus loin dans sa Thèse, après avoir rappelé le rôle donné par la géométrie réglée de Plücker aux hyperespaces, Linfield décrit ceux-ci comme « des espaces dont les éléments ne sont pas arbitraires, mais sont spécifiés comme nombres, fonctions ou espaces... », ajoutant : « Les points du plan euclidien, de l'espace euclidien à 3 ou n dimensions sont arbitraires ; ils peuvent être des montagnes ou des microbes, cela importe peu en ce qui concerne la démonstration des théorèmes après que les termes figurant dans les énoncés ont été proprement définis, par suite les espaces euclidiens ne sont pas des hyperespaces ». Puis Linfield montre que « les concepts de l'hyperespace peuvent être étendus aux espaces discrets : ceux dont les éléments sont des sous-espaces d'un espace discret arbitraire, et ceux dont les éléments sont des cellules fermées à n dimensions (sous-espace d'un espace binaire homéomorphe à une sphère fermée S à n dimensions) ». On se souviendra à ce propos que, comme il est dit classiquement, la définition d'un simplexe euclidien considère $x_0, x_1, \dots, x_p$ $p + 1$ points dans l'espace euclidien de dimension n de coordonnées $(x^1, x^2, \dots, x^n)$ de x_1 pour

$i = 0, 1, \dots, n$ et les points $x_0, x_1, \dots, x_p$ sont dits linéairement indépendants ssi la matrice

$$\begin{bmatrix} x_0^1 & x_0^2 & \dots & x_0^n & 1 \\ x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^n & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ x_p^1 & x_p^2 & \dots & x_p^n & 1 \end{bmatrix}$$

est de rang $p + 1$, ce qui s'interprète géométriquement en considérant les hyperplans affines de l'espace euclidien de dimension n contenant les points $x_0, x_1, \dots, x_p$.

Nous nous arrêterons là à ce sujet puisque nous nous trouvons désormais en position pour situer 1) le problème des hétérogénéités et des anisotropies de surcroît spécifiques d'espèce et de localisation, 2) le problème général du traitement des images à partir de l'objet-source (astrophysique, échographique, scintigraphique, etc.) de chaque espace vivant. Les particules de l'espace de Linfield doivent en effet être réinterprétées en fonction des tailles et des distributions variables – dans l'espace et dans le temps – des constituants structurels et ultra-structurels du vivant. L'extension à laquelle je me trouve conduit consiste à construire la représentation d'un espace de Linfield polydispersé, ce qui pose le problème du traitement d'un tel espace discret à constituants non-identiques et formant plus, en première approximation, un contiguum qu'un continuum. Il s'agit donc ensuite de « lisser » cet espace discret polydispersé en considérant des distributions de densités ponctuelles variables admettant localement des degrés d'appartenance définissant des sous-ensembles flous en intersections. Le principe que je mets en œuvre consiste à définir le barycentre (Grassman, Burali-Forti & Marcolongo, etc.) de chaque structure granulaire simple – on peut alors simplifier en construisant l'isobarycentre des médianes si la structure est triangulaire ou tétraédrique – ou complexe (noyau cellulaire et ses différenciations ultrastructurales internes); dans ce dernier cas on aboutit à un ensemble de barycentres voisins que l'on peut laisser distingués ou que l'on peut résoudre, par construction, en un barycentre moyen dans un

domaine de mesure quarable ou cubable. Les coordonnées du barycentre sont triviales $X_G = \frac{\sum a_i x_i}{\sum a_i}$, $Y_G = \dots$, $Z_G = \dots$) et nous noterons par ailleurs que la méthode présentée ne conduit pas à utiliser les différences finies, ramenant l'hétérogénéité à un traitement banachien particulier sur des points, c'est-à-dire des singularités de dimension zéro [notamment : 1) ces points sont dans la quasi-totalité des états non rectilinéairement alignés, 2) les variétés obtenues sont passibles d'applications différentielles, d'où l'examen comparatif des difféomorphismes, etc.]. Pour terminer ici sur ces questions je mentionnerai ce que j'ai déjà énoncé ailleurs (NATO-ASI) : de même que la droite (rectilinéaire) est un cas particulier des courbes, le plan est un cas particulier des surfaces, de sorte qu'au lieu de projeter un être géométrique ou topologique sur un système de coordonnées rectilinéaires ou lisses on peut enrichir la représentation de cet être en le projetant sur des variétés à singularités qui, comme on le sait, sont localement des espaces euclidiens d'où l'emploi de coordonnées locales (cartes) qui se définit sur une variété V comme tout ouvert $U \subset V$ muni d'un homéomorphisme α de cet ensemble sur un ouvert O de $\mathbb{R}^n$ (où n est la dimension de V au point choisi). D'une part on aboutit ainsi aux problèmes et solutions proposés par E. Beltrami (« Sulla teorica generale dei parametri differenziali », Ac. Bologna, 1868) et par G. Darboux (Théorie générale des surfaces, III^e partie, Livre VII « La déformation des surfaces », 1887-1946), ainsi qu'aux équations de Legendre et de Borel. D'autre part dans la célèbre conjecture $x(\frac{3}{2})^n$ sur un tore, l'ouvert O complétant le fermé F , $2F = 3O$ est à considérer.

(En fait pour atteindre la représentation conforme du vivant, pour résoudre ainsi toutes les équations quadratiques, il faut adjoindre les racines d'équations comme $x^2 + 1 = 0$, $x^2 - 2x + 2 = 0$, $x^2 + x + 1 = 0$; c'est alors admettre que $x^2 + 1 = 0$ possède une racine = imaginaire i , donc considérer les C-espaces et admettre qu'un bio-espace est une variété composée de C-espace).

Retournons d'autre part à Einstein (« La théorie de la relativité restreinte et générale », Coll. Discours de la méthode, Gauthier-Villars, Paris 1976, chap. XXIV et XXVII qu'il faudrait citer *in extenso*). Imaginant une table de marbre sur laquelle est disposé « un grand nombre de bâtonnets de même longueur et petits en

comparaison des dimensions de la surface de la table » (souvenons-nous des dimensions variables mais petites du nombre de molécules par rapport à celle de l'organisme d'un être vivant pluricellulaire), Einstein forme des carrés avec ces bâtonnets » de telle sorte que chaque côté d'un carré appartient à deux carrés et chaque sommet d'un carré à quatre carrés... les points de la surface de la table constituant un continuum euclidien relativement au bâtonnet utilisé comme distance... Mais si des bâtonnets de tous genres, c'est-à-dire de n'importe quelle substance (c'est moi qui souligne) se comportaient, par rapport à la température, de la même façon sur la surface de la table différemment chauffée et si nous n'avions d'autre moyen de constater l'action de la température que le comportement géométrique des bâtonnets... il pourrait paraître utile d'attribuer à deux points de la table la distance unité, si les extrémités d'un de nos bâtonnets coïncidaient avec eux ; car, comment pourrait-on définir autrement la distance, sans l'arbitraire le plus choquant ? Mais alors la méthode des coordonnées cartésiennes doit être abandonnée et remplacée par une autre, qui ne suppose pas la validité de la Géométrie euclidienne pour les corps rigides... *« Plus loin, Einstein introduit dans la formulation exacte du principe de Relativité générale le « mollusque de référence », corps de référence non rigide qui « est en substance équivalent à un système quelconque de coordonnées à quatre dimensions de Gauss... Le principe de Relativité générale exige que tous ces mollusques puissent être employés, avec un égal droit et un égal succès, comme corps de référence pour la formulation des lois générales de la nature ; les lois elles-mêmes doivent être tout à fait indépendantes du choix des mollusques ».*

En conclusion, l'espace vivant n'est que partiellement euclidien.

B. - SUR LA BIOTHERMODYNAMIQUE

Cet examen de la représentation mathématique réaliste du vivant pour une Biophysique mathématique cohérente nous conduit naturellement à la biochimie-physique des potentiels et des champs puisque, comme le dit James Watson, *« les cellules obéissent aux*

lois de la Chimie » – et que, comme je vais le démontrer, de même qu'il y a en Relativité générale relation entre Géométrie et Physique de l'Univers, il y a, pour la Vie, relation entre Géométrie et Physico-chimie : « conformément à la théorie de la Relativité générale, les propriétés géométriques de l'espace ne sont pas indépendantes, elles sont conditionnées par la matière. » En Biologie pour un système de coordonnées *ad hoc*, les « règles » et les « horloges » d'Einstein sont non seulement influencées par la distribution de la matière mais encore par la nature et la fonction de chaque matière spéciale qu'est une bio-molécule. Les choses ne sont évidemment pas encore élaborées dans ce domaine du vivant que j'introduis, on s'en doute, du fait que la Biologie est une science beaucoup plus récente que l'Astronomie ; en fait nous en vivons actuellement la période héroïque. La question qu'on peut se poser est la suivante : quel est l'équivalent pour les forces et champs du vivant – et du pensant ? – des forces et champs gravitationnels de l'Univers ? Ceci correspond au dicton anglophone : « *In biology the whole is equal to the sum of its parts – plus a little more* », incise qui fait écho à Cantor : l'ensemble des sous-ensembles d'un ensemble donné a une puissance supérieure à celle de cet ensemble donné. On peut citer comme exemples de la relation biogéométrie-biophysico-chimie : 1) le déterminisme de la division cellulaire considérée comme régi de façon équivalente soit par la relation volume nucléaire/volume cytoplasmique soit par le rapport nucléo-plasmique azote purique (indice nucléaire)/azote total-azote purique (indice protoplasmique) spécifique d'espèce (Hertwig approfondi par Schaeffer et Le Breton, Robertson) ; 2) pseudopodes et nutrition de la cellule déformable ; 3) loi de « similitude biologique » de Lambert et Teissier qui part de la loi dite « des surfaces » (Rameau et Sarrus, Rübner) et l'explicite – le petit homéotherme produisant plus de chaleur que le grand doit produire plus de chaleur pour conserver son homéothermie, sa surface étant relativement plus grande par rapport à son poids que celle des grands homéothermes. La loi de similitude biologique considère deux animaux géométriquement semblables : si deux longueurs homologues sont dans un rapport A, on devra trouver A pour tout couple de mensuration. On arrive ainsi à exprimer une grandeur quelconque en fonction d'une ou plusieurs grandeurs qui lui sont en l'occurrence homogènes. Ainsi les fréquences cardiaques et ventilatoires sont en raison inverse du poids de l'animal (pour le

cœur : 72 révolutions/mn chez l'Homme pour 300 chez le Rat et 1000 chez le Colibri). Si alors P = poids et K = constante spécifique d'espèce, il vient :

$$\log \begin{array}{c} \text{fréquences} \\ \text{ou} \\ \text{métabolisme} \\ \text{(en calories)} \end{array} = K - 1/3 \log P$$

Figure 2

où $-1/3$ = pente des droites

Cette loi repose sur l'homothétie rigoureuse. Je ferai deux remarques :

1) *les temps homologues* auront la même relation que les longueurs, soit $\tau = \alpha P^{1/3}$ (cette relation spatio-temporelle est particulièrement importante en fonction de ce que j'ai développé dans la section : Théorie des représentations),

2) *les fréquences homologues* seront, elles, inversement proportionnelles à la racine cubique du poids corporel (v. Hoeslin, Paul Bert), soit

$$f = \frac{1}{\alpha} P^{-1/3}.$$

De surcroît un être vivant – un homéotherme en particulier – ne peut être absolument assimilé à une machine produisant de la chaleur – forme par ailleurs dégradée de l'énergie. Une comparaison d'un facteur de dimension avec un facteur énergétique – par exemple consommation d'oxygène (en ml/h) – fournit un rapport interspécifique pertinent pour les homéothermes et les poïkilothermes (Benedict, 1938 ; Brody, 1945 ; Zeuthen, 1947 ; Kayser, 1950 ; Kleiber, 1961) d'équation

$$V_{O_2} = a P^b$$

où P est le poids vif et $b \sim 0,70$ pour tous les Vertébrés étudiés. Nous trouvons donc là un invariant géométrico-énergétique puisque le poids est relié à la surface par la relation de Meeh (1879), soit

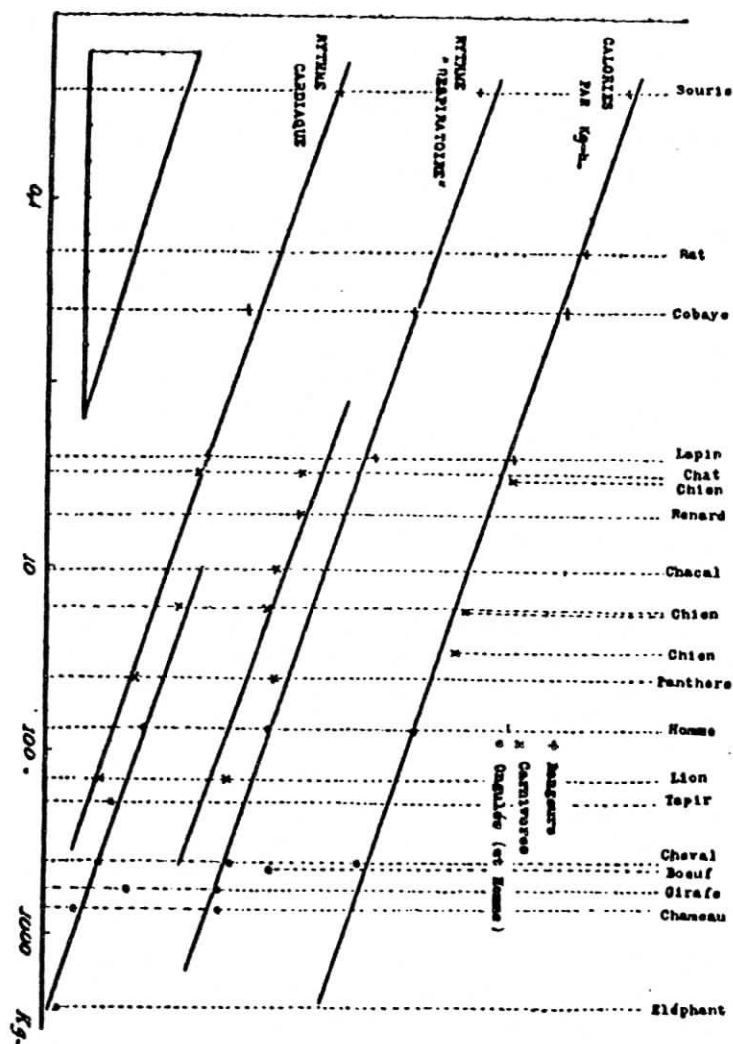


Fig. 2 In : R. Lambert et G. Teissier, *Ann. Physiol.* (1927), 3, 212.

$S = K \sqrt[3]{P^2}$ (avec $K = 12,3$ pour l'Homme sauf chez l'obèse, 12,0 – 12,9 pour le Lapin, 10,3 – 11,2 pour le Chien, etc.). Il est donc justifié de considérer la biothermique globale d'un être vivant comme la résultante des biothermiques locales, souvent distantes les unes des autres et à décours inverse.

Ainsi il est évident qu'une relation indissoluble et interactive : structure (comme géométrie spécifique) – fonction (comme énergétique spécifique) se trouve désormais spécifiée, les deux grandeurs 1) spatio-temporelle (matière vivante), 2) énergétique gouvernant de façon **princeps** le phénomène Vie. Le formulaire énergétique est une grammaire à 15 symboles fondamentaux, soit : l'énergie E (potentielle, cinétique, d'une charge électrique, d'un champ électrique, de rotation), l'énergie interne $JQ - \mathcal{E} = \Delta U = U_2 - U_1$, l'énergie utilisable (sous forme d'énergie nécessaire) – il faut bien distinguer l'énergie libre de Helmholtz $F = U - TS$ et l'énergie libre de Gibbs $G = U - TS + PV = H - TS$ (cf. enthalpie).

En fait ce sont les variations d'énergie qui sont importantes de sorte que l'on distingue notamment ΔG (cal mole⁻¹) le **potentiel chimique** découlant en définitive de la combinaison des 1^{er} et 2^e Principes de la Thermodynamique soit, donc, de ΔE et de ΔS .

Ainsi $\Delta G \cong \Delta E - T\Delta S$, mais il faut distinguer ΔG de $\Delta G^\circ = -RT \ln K$ ($K = \text{Cte d'équilibre}$) ou **changement de l'énergie libre standard**, et ΔG° de $\Delta G'$, ce dernier correspondant à ΔG° pour pH 7,0. Or pH 7,0 est loin d'être systématiquement le pH des réactions biotiques dans leur diversité.

L'enthalpie H (« heat content ») = $U + PV$ (P pression, V volume), Q (capacité thermique ou quantité de chaleur) qui est une **grandeur mesurable** – par exemple la capacité thermique molaire correspond à la quantité de chaleur en calories nécessaire pour accroître la température T (ou θ), **grandeur seulement repérable** (!), d'une mole de substance d'un degré –, l'entropie S , le travail $\mathcal{E}$ (associé au joule $J = 10^7$ ergs), $R = 8,32 \cdot 10^7$ ergs /C/mole, f la fugacité ou plutôt l'activité a issue de la relation $G = RT \ln a + C^\circ$ – sorte de « concentration généralisée ».

Pour donner une idée du caractère énergétique « économique », comme dit Watson, de la construction des biopolymères à partir des monomères et en général des liaisons qui s'établissent dans les molécules naissantes réparables et renouvelables des biosystèmes, citons Watson (« Biologie moléculaire du gène ») : « Beaucoup d'événements chimiques importants pour la vie cellulaire ne font intervenir ni la création ni la destruction de liaisons covalentes.

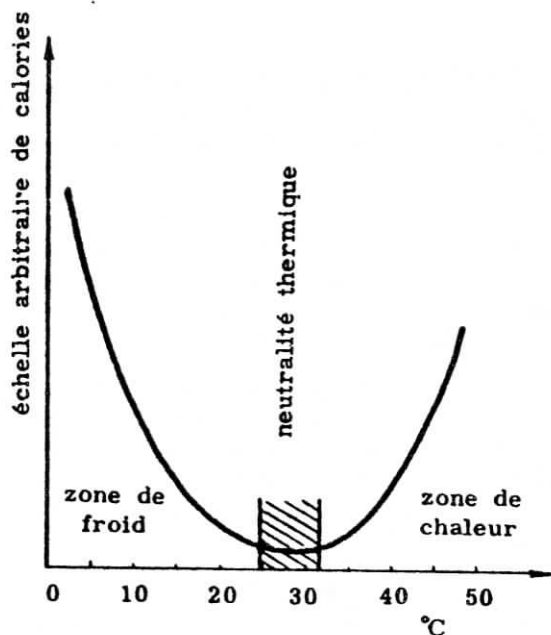
La localisation cellulaire de la plupart des molécules dépend de l'existence de forces « faibles » (secondaires), attractives ou répulsives. Ces liaisons faibles jouent encore un rôle important dans la détermination de la forme de nombreuses molécules, et particulièrement les grandes molécules. Parmi ces liaisons « faibles », les plus importantes sont : les liaisons hydrogène, les interactions de van der Waals et les liaisons ioniques ». Un exemple : « Des valeurs de ΔG comprises entre 1 et 5 Kcal, n'impliquent pas seulement la création spontanée de liaisons faibles uniques, mais aussi la formation spontanée des structures maintenues par plusieurs liaisons faibles. Par exemple, une chaîne polypeptidique déroulée, instable, a tendance à adopter, au hasard et à cause de l'agitation thermique, un grand nombre de configurations, pour la plupart thermodynamiquement instables. Il est inévitable cependant que l'agitation thermique mette en contact des groupes capables de former de bonnes liaisons faibles. Ces groupes ont tendance à rester associés parce que leur formation entraîne une perte d'énergie libre inférieure au gain que fournirait leur destruction. Ainsi, par une série de mouvements désordonnés, la chaîne polypeptidique prend une configuration dans laquelle la plupart des atomes, sinon tous, ont des positions bien définies à l'intérieur de la molécule ». Pour préciser encore ce caractère économique de la géométrie énergétique vivante, je ferai référence aux enzymes fonctionnant près de l'équilibre. Catalyseurs, leur présence ou leur absence est facteur limitant de certaines réactions et nous nous trouvons d'emblée devant le fait que la Physique des inanimés ne peut épistémiquement s'appliquer directement à la physique du vivant – et a fortiori du vivant-pensant. Il ne s'agit pas d'un dualisme conceptuel mais de facto parce que opératoire et qui introduit la complémentarité de Bohr. Disons que les enzymes réduisent l'énergie d'activation nécessaire pour obtenir une réaction

en même temps que la quantité minimale d'énergie exigée pour une réaction est grande. De plus le **caractère adaptatif du vivant** (= la multiplicité de ses vicariances fonctionnelles et morphologiques) contribue à certifier son originalité. Ainsi il y a chez l'homéotherme un minimum de production calorifique pour une certaine température : c'est le **point critique** ou **point de neutralité thermique** (Fig. 3).

C'est une sorte d'état d'équilibration (processus de mise en équilibre dans une zone restreinte) pour que, à ce point, le milieu permette l'écoulement de la chaleur d'un être vivant « au fur et à mesure qu'elle se produit » (J. Lefèvre). Or loin de la **neutralité thermique**, il n'y a pratiquement pas d'**extra-chaleur** pour les protéines, glucides et lipides qui sont dits alors **isodynams** (Rübner : notion d'**action dynamique spécifique** telle que si à jeun le métabolisme est de 100 calories, l'ingestion d'une quantité de protéines qui devrait théoriquement couvrir cette dépense produit 30 calories de plus - **extra-chaleur** qui est de 5 calories pour les glucides et de 13 calories pour les lipides). Or cette action n'est pas de type « bombe calorimétrique » ; il faut que non seulement le métabolisme soit impliqué mais encore que le système nerveux orthosympathique soit excité spécifiquement selon le type d'aliment.

De même la métaphore de la vie = chandelle qui brûle est inexacte. Nous ne brûlons pas mais nous nous **déshydrogénons** par voie d'enzymes et de transporteurs de telle sorte que se stocke une partie de l'énergie et que s'en libère une autre partie.

A l'origine de la Vie, dans la « soupe primordiale », que les phénomènes dissipatifs aient été prédominants n'est pas inimaginable ; aujourd'hui que les systèmes vivants en développement détiennent incontestablement une certaine **métastabilité** individuelle et globale (servo-mécanismes non-linéaires) qui caractérise un système en constante tendance ré-équilibratrice, la procédure passe par les **voies conservatives** du génique plongé dans un milieu **plus ou moins dissipatif** (cf. bactéries thermophiles) que l'être vivant filtre et organise par le truchement des enzymes. Le moteur informationnel biotique est l'expression formalisée de cet état de fait que souligne par exemple le constat classique qui indique que lorsque du glucose-6-phosphate transfère son groupe phosphate à l'eau, ΔG° est seulement de $-3 \text{ Kcal mole}^{-1}$ alors que pour l'ATP



ce transfert présente un ΔG° de $-7 \text{ kcal mole}^{-1}$ (notons qu'un $\Delta G < 0$ correspond à des réactions « spontanées »). Nous nous trouvons dans ce cas de figure en présence de ces systèmes non-linéaires localisés dans un voisinage suffisamment petit relatif à leurs points d'équilibration tels qu'ils peuvent se comporter de façon en quelque sorte semblable à un système linéaire. Dans l'espace qui m'est imparti je ne peux qu'attirer l'attention sur ce fait que, lorsqu'il est question de système fluctuants générateurs d'ordre – de la thermodynamique linéaire du non-équilibre (Onsager) à la thermodynamique non-linéaire loin de l'équilibre (cf. *supra* : loin de la neutralité thermique...) pour ainsi « conquérir la complexité » comme le dit justement Prigogine –, il convient de distinguer comme il est classique (cf. par exemple D. Siljak) :

– les **oscillations symétriques** entretenues non-linéaires (dans la variété paramétrique plane, pour simplifier) correspondant à

l'équation non-linéaire différentielle $A(s)x + B(s)F(x, sx) = 0$ (avec $s \equiv d/dt$) où $A(s)$ et $B(s)$ sont des polynômes de s où le degré p de $A(s)$ $x >$ degré de q de $B(s)$, la fonction $F(x, sx)$ représentant la non-linéarité étant une fonction symétrique par rapport à l'origine ;

- les **oscillations asymétriques** où le centre de cycle-limite est déplacé selon la valeur correspondante du signal constant ou variant lentement, le cycle-limite s'y superposant (c'est le cas notamment des systèmes soumis à des incitations forcées) ;

- les **oscillations transitoires** non linéaires linéarisables selon la méthode de Krylov-Bogoliubov de telle façon que dans le voisinage d'oscillations stationnaires, le processus transitoire est proche d'un processus transitoire d'un système linéaire équivalent avec un facteur d'amortissement variant lentement (le diagramme du plan paramétrique pour les systèmes d'ordre élevé est des plus intéressants en Biophysique) ;

- les **oscillations forcées non-linéaires** qui font intervenir le **saut résonant**.

De toute façon un être vivant adulte se trouve dans un état quasi-stationnaire de **stabilité** (restaurations $>$ accroissements) et, à ce propos, il faut rappeler que l'existence d'une fonction de Liapounov n'offre pas la certitude que le système considéré est stable, cette fonction ne donnant que les *conditions* de stabilité. Il faut insister sur ce que, pour un bio-système, le **système génétique** est le facteur fondamental de la **stabilité conservatrice** d'une espèce (*sapiens* par exemple, aux variétés et aux conditions écologiques près, se reconnaît depuis environ 40 000 ans).

Revenons à cet égard sur l'aspect algorithmique que nous avons traité ci-dessus pour toute transformation infinitésimale du groupe des déplacements euclidiens de trièdes ; on aboutit à une dynamique conduisant à la notion gaussienne de **contrainte** qui fait intervenir une force empêchant le point considéré de prendre son mouvement libre. (Notons que Gauss a vu un isomorphisme entre l'action de contrainte et la loi des erreurs dont le caractère est l'invariance euclidienne, et il serait intéressant d'examiner avec précision l'influence de Gauss sur le développement de la Mécanique statistique). Quoi qu'il en soit cette notion de contrainte gaussienne

est applicable au **frottement** (de glissement notamment) entre un point x_0, y_0, z_0 correspondant à une trajectoire libre et un point x, y, z , se rapportant à une trajectoire suivie avec frottement (donc deux trajectoires et non plus une avec deux positions voisines comme chez Newton), on en arrive à la notion de **dissipation** de l'action libre sur le point x_0, y_0, z_0 puisque, ayant fait $x = x_0, y = y_0, z = z_0, dx/dt = \mu dx_0/dt, \dots, dz/dt = \mu dz_0/dt$, l'action euclidienne correspond à une fonction de la vitesse

$$v_0 = \sqrt{\left(\frac{dx_0}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_0}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz_0}{dt}\right)^2}$$

affectée du facteur $1 - \mu$ (cf. Corps déformables, E. et F. Cosserat ; Hermann, 1909). C'est là une belle formulation de type physique classique des inanimés. Si nous regardons maintenant ce qu'il en est en énergétique des réactions chimiques (cf. par exemple G. Urbain ; Doin, Paris, 1925) on notera qu'« un système est dans un état absolument **stable**, si aucune intervention catalytique ne peut le déterminer à se transformer spontanément... tout système menacé de se transformer spontanément... est dans un état de contrainte (« **faux équilibres** » de Duhem)... en l'absence d'action catalytique efficace, le système peut évoluer seulement par voie réversible suivant la suite d'états de contrainte considérée. Mais en présence d'un catalyseur approprié il peut subir une **transformation spontanée** qui sera par essence irréversible... l'état de contrainte est par essence instable. Cette instabilité admet différents degrés ». Nous nous rapprochons des processus biotiques où il y a « relance » métabolique (cf. **cartes des graphes d'interconversions**) selon des cascades, localement « fourchues », de potentiels thermodynamiques et des oscillations de type van der Pol ou « catastrophes » (Thom, Zeeman) avec une pente ascendante de (re)synthèse et accession à une valeur-seuil déclenchant un brusque processus.

Ceci nous conduit aux mécanismes fondamentaux des **processus automatogènes du cœur**. Nous nous trouvons dans le cas d'un servo-système continu mais inversiblement constitué par la « contrainte » statique représentant l'aspect purement biotique du processus résultant. Brièvement, le phénomène se présente de la façon suivante : dans un cycle contraction(systole) – décontraction

(diastole) ou révolution cardiaque, l'attitude classique – qui se trouve encore dans les ouvrages aujourd'hui – est que la **diastole** est une phase de repos. Ce qu'elle n'est en rien : 1°) au plan biochimique, c'est pendant cette phase que se resynthétisent les molécules nécessaires à l'excitation et à la contraction suivante, 2°) au plan biophysique c'est aussi pendant cette phase que le cœur est rempli de sang, lequel exerce la « contrainte » statique sur les centres automatogènes et les fibres musculo-élastiques du cœur. Or ces processus sont liés : la contrainte mécanique (que j'ai nommée **catalyse mécanique**) agence les molécules des membranes cellulaires cardiaques de telle sorte que certains systèmes enzymatiques se trouvent placés en présence de leurs substrats métaboliques, et, notamment, ceux qui pour une **valeur-seuil** d'une quantité définie d'AMP cyclique qui a pu être déterminée (avec mon élève J.C. David) déclenche, via un appel d'ions calcium, le processus électro-systolique, et ainsi de suite pour les autres révolutions cardiaques. De sorte que le système cardio-circulatoire est un système assisté où contrainte et catalyse sont liées et par lequel le cœur fait circuler le sang qui, retournant au cœur et le distendant, réimpulse le cœur, etc : **extension appelle contraction**.

Indépendamment de ce que le phénomène a ainsi permis, après 25 années d'efforts, de mettre en évidence les mécanismes fondamentaux de l'impetus cardiaque, ces faits confirment :

- d'une part un nouvel aspect, dynamique, de la conception énoncée ici-même de la biogéométrie gouvernant la fonction – laquelle étant d'ailleurs liée organiquement à des structures adéquates. Dans le cas du cœur j'ai nommé cet aspect : **enzymologie topographique**.

- d'autre part, la **Biophysique** se distingue, de par la variabilité et la diversité des objets de son étude conceptuelle et opératoire, de la **Physique** (des inanimés) ; ainsi l'aspect visco-élastique ne peut, seul, rendre compte du processus considéré qui fait intervenir un terme, génériquement parlant, **enzymatique** et, de surcroît, la mesure de la thermogénèse d'une seule révolution d'un cœur extirpé ouvert sous catalyse mécanique (réalisée avec mon disciple P. Boivinnet) fournissant des valeurs « économiques », dans un

mélange 75 % O₂ – 25 % N₂ « R », d'environ 0,040 cal/h/mg azote Kjeldahl.

Ce caractère économique de la Vie n'est pas sans poser le problème du chaos et du désordre, problème que je poursuis, comme bien d'autres (dont Ilya Prigogine : « le désordre et le chaos peuvent se muer en ordre » in : « Prospective et Société », 1980 n° 13) et qui me poursuit (... le moment de grand désordre d'où naîtra un ordre supérieur... comme je l'écrivais, après l'avoir énoncé à un Colloque à Genève en 1969 – cf. *Vers un nouvel entendement*). C'est van Helmont qui a introduit le terme *gas* à partir du latin *chaos* et du grec *khaos*, de sorte que la Théorie cinétique des gaz de Boltzmann devait bien être celle de la probabilité dans des chaos ! De plus : l'entropia hellénique, entrant par Clausius dans la Science conduit à l'évolution probabiliste du chaos... Quoi qu'il en soit l'idée classique, en sociologie et métaphysique au moins, de l'identité chaos = turbulences = confusion = désordre a déjà été sévèrement révoquée en doute par Poincaré et aussi Birkhoff pour la mécanique céleste et par Prigogine pour la physico-chimie. Les choses sont désormais placées sur un plan un peu plus avancé encore : s'il existe des *chaos-pathologies*, s'il existe de l'ordre sortant du désordre (dissipation), il existe aussi ce que je nommerai des *chaos ordonnés spécifiques et itérables*, des *chaos-ordres*. Ce sont ces derniers que j'ai mis en évidence dans la technique ciné-interférentielle qui fait l'objet du film *Turbulences phonatoires externes* projeté en ce haut-lieu de Peyrescq : chaque phonème montre un type de turbulence *organisé* qui lui est caractéristique, à la diversité biotypique et à la variabilité individuelle près. Ces vorticités caractéristiques et répétables découlent des propriétés géométrico-dynamiques et topologico-dynamiques (homotopies des résonateurs déformables pendants des homotopies de l'organe de Corti de l'oreille – « input » sonique et « output » phonique) des éléments de l'appareil phonatoire. Nous nous trouvons là encore dans le cadre de la géométrie conditionnante de fonction (on retrouve d'ailleurs cet ordre chaotique dans le cas des instruments de musique à vent, et c'est en somme plus que la chaleur, forme la moins noble de l'énergie, qu'utilise cependant toute machine thermique). Voilà donc le chaos comme forme de la plus haute organisation expressive que le cerveau humain possède par organe périphérique interposé : la voix. Et, dois-je le dire, cela me plonge dans plus de problèmes

que la réalisation de la synthèse de la parole par le **dactylophone** parce qu'il n'était, en ce cas, que d'appliquer selon un certain byzantinisme l'appareil mathématique, tandis que surgissent de ces recherches sur l'air exhalé phonique les connotations vénérables allant du souffle au Verbe. Pas d'oreille, pas de parole, de pensée constructible.

Ainsi la Biophysique apparaissait **a priori** comme un sous-ensemble de la Physique ; en fait – puisque pour l'Homme tout est anthropologie sans anthropocentrisme –, c'est la Physique qui se présente comme un sous-ensemble de la Physiologie, i.e. de la Géométrie bio-physico-chimique.

Simiane-la-Rotonde

Le 5 août 1980, 12 h 15.