AVANT-PROPOS

Depuis les temps les plus anciens, l'homme a interrogé le monde. Ce questionnement est à la base de toute démarche intellectuelle, qu'elle soit de nature scientifique, philosophique ou religieuse. Si ces différents champs de réflexion se sont progressivement éloignés les uns des autres au cours de l'histoire, avec la fragmentation du savoir et la divergence des disciplines et sous-disciplines, il n'en est pas moins vrai que les sciences font partie de notre culture anthropologique. Les formidables avancées de la science au XX^{e} siècle ont transformé le rapport entre la science et la société. Par ses applications la science est devenue un élément essentiel de notre existence. Non seulement elle est entrée dans notre quotidien, mais, de plus en plus, elle représente un enjeu économique important et elle exerce une réelle influence sur la politique des Etats.

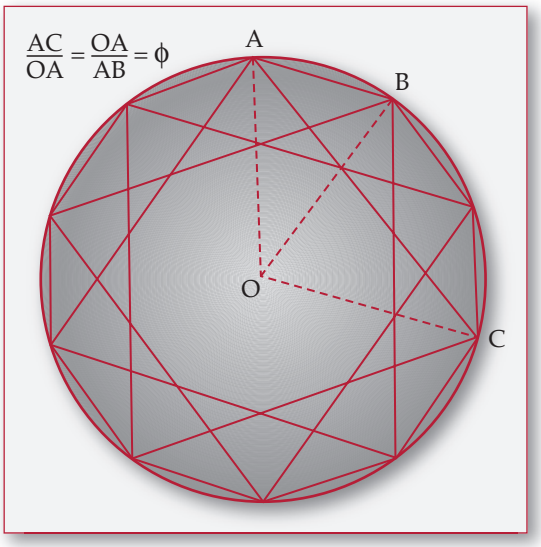
Parmi l'ensemble des sciences, la biologie occupe une position centrale. Elle concerne tous les humains, cherchant à répondre à l'éternelle question : qui sommes-nous ? Progressivement, l'homme a pris une place de plus en plus importante dans le monde. Bien que le cosmos suscite encore un intérêt certain, dans les divers domaines de la pensée les préoccupations sont devenues de plus en plus anthropocentristes depuis DESCARTES et son ***cogito ergo sum***. Ainsi que le souligne Paul VALÉRY : ***Cogito me fait l'effet d'un appel sonné par DESCARTES à ses puissances égotistes*** [1]. L'injonction de l'oracle de Delphes, ***connais-toi toi-même***, avait un tout autre sens. Comme le disait SOCRATE, se connaître soi-même, c'est connaître l'infini et les dieux. La tradition hindoue comporte la même ouverture sur le monde. ***Je ne me connais moi-même qu'en tant que je connais les dieux, et je ne connais les dieux qu'en tant que je me connais moi-même***, enseignait Mahidasa AITAREYA [2]. A l'inverse, l'homme moderne s'est replié sur lui-même dans un processus d'enfermement. ***On pourrait même soutenir que le caractère principal de la Modernité, par lequel elle se distingue radicalement de l'Antiquité, tient à ce passage insensible de la substantialité à la subjectivité […] L'homme antique fondait la hauteur de son âme sur le monde, ou chez PLATON, cet au-delà du monde qu'est le bien, l'homme moderne fonde uniquement son moi sur lui-même*** [3]. Tel NARCISSE contemplant son reflet dans les eaux de la fontaine, l'homme moderne contemple sa propre image. Son regard s'est détourné du monde, pour se retourner sur lui-même. Dans ce retour sur lui-même, il devient de plus en plus attentif à sa santé et, en conséquence, aux développements de

[1] P. VALÉRY (1957) *Œuvres complètes* **tome I**, 860, Gallimard (La Pléiade), Paris

[2] *Aitareya-Aranyaka* **II**(1), 8, cité par J.F. MATTÉI (1999) *La barbarie intérieure*, PUF, Paris

[3] J.F. MATTÉI, *op. cit.*

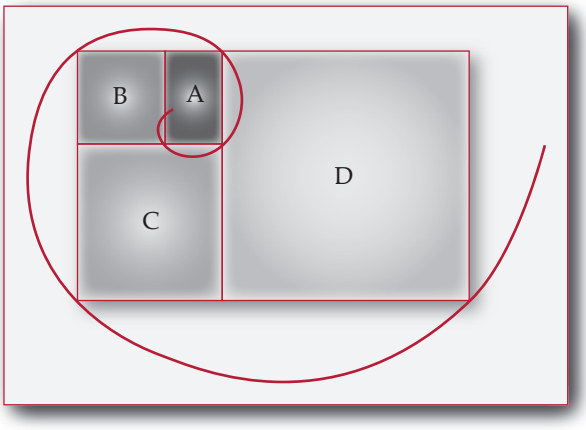
Le rapport du rayon du cercle au côté du décagone convexe inscrit dans ce cercle est égal au nombre d'or. La même égalité se retrouve dans le rapport du décagone étoilé au rayon du cercle (figure 3). Parmi les corps platoniciens, deux polyèdres, l'icosaèdre et le dodécaèdre, sont directement liés au nombre d'or.



3

Le décagone régulier convexe de côté AB et le décagone régulier étoilé de côté AC

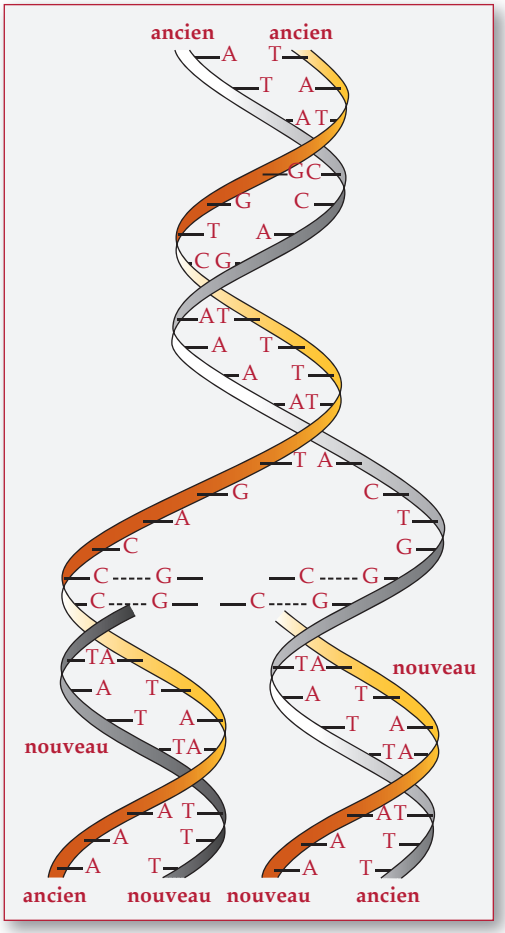
Le nombre d'or est aussi caractéristique de la spirale de BERNOULLI ou spirale logarithmique. Si l'on part d'un rectangle A dont les côtés sont dans la proportion du nombre d'or et que l'on construise sur le grand côté le carré B, on obtient un rectangle semblable au rectangle A. Ce carré B représente un ***gnomon*** au sens d'ARISTOTE, c'est-à-dire une figure qui, ajoutée à la précédente, produit une figure semblable (figure 4).



4

Construction de la spirale de BERNOULLI

La topologie de l'ADN relève donc à la fois de la biologie structurale et de la science des nœuds en topologie mathématique. Des enzymes, appelés topoisomérases, sont capables de modifier les propriétés topologiques de l'ADN. Les topoisomérases sont des enzymes qui introduisent des coupures transitoires dans l'ADN afin de permettre à un segment d'ADN de passer à travers un autre, puis assurent la ligature subséquente, ce qui permet à la molécule de s'enrouler de plus en plus. Les coupures simple brin sont catalysées par les topoisomérases de type I, les coupures double brin par les topoisomérases de type II. La recombinaison entre les séquences répétées de certains ADN circulaires produit soit des nœuds, soit des anneaux liés comme les maillons d'une chaîne qui sont réalisés par des topoisomérases spécialisées. L'analyse topologique des produits de la réaction permet de déterminer quel type de mécanisme est mis en jeu [4]. Quelle que soit sa forme, l'ADN est replié en de nombreuses boucles assurant une compacité à la molécule qui, malgré sa longueur, occupe un faible volume.



Mais comment cette longue chaîne de nucléotides peut-elle contenir toutes les instructions nécessaires au développement d'un organisme ou même d'une simple cellule ? Comment les messages sont-ils copiés ? La réponse à ces questions réside dans la structure de la molécule, la célèbre double hélice de WATSON et CRICK. La traduction du message s'effectue selon une séquence d'événements bien déterminés qui aboutit à la formation de protéines. Tout d'abord la réplication de l'ADN, sa reproduction à l'identique, s'effectue par séparation des brins et formation de molécules complémentaires, l'appariement des bases permettant une reproduction précise (figure 15).

15

La réplication de l'ADN

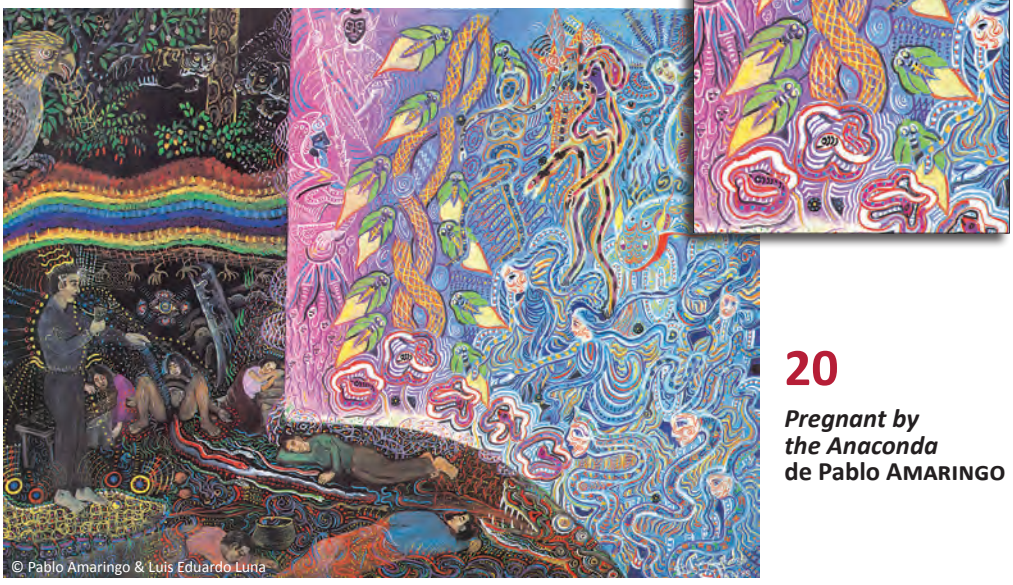
[4] Pour en savoir plus, consulter l'article de James WANG : «Les enzymes qui modifient la topologie de l'ADN» *Pour la Science* (avril 1997) 120-129, ainsi que le commentaire de Michel DUGUET p. 130

On retrouve aussi en Guinée une représentation du serpent, le serpent AMANCHONG, qui est une grande figure de bois symbolisant le génie du python NINGUINANGA, divinité qui contrôle les forces cosmiques [9]. La vue d'AMANCHONG est réservée aux seuls initiés. Parmi les objets de l'artisanat du Bénin, on trouve une statuette figurant un homme et une femme enlacés en double hélice (figure 19). Est-ce une analogie avec l'accouplement des serpents anacundas ?

19

Dessin d'après une statuette de l'artisanat du Bénin

Deux serpents enroulés en double hélice apparaissent aussi chez les Amérindiens. Les chamanes de la tribu d'Indiens ASHANINCA au Pérou, dans leurs visions provoquées par une drogue hallucinogène, l'hayahuasca, voient deux serpents enroulés en double hélice ascendante. Ces visions ont inspiré les peintures de l'un de ces chamanes, Pablo AMARINGO [10] (figure 20).



20

Pregnant by the Anaconda **de Pablo AMARINGO**

[9] F. MOTTAS (2002) *L'oiseau et le serpent. Images et mythes du monde antique et de l'Afrique première*, Infolio, Lausanne

[10] Pablo Cesar AMARINGO a nommé ce tableau *Pregnant by the anaconda*. Il a d'ailleurs fondé une école de peinture, Usko Ayar, enseignant aux élèves la reproduction de visions intérieures.

Dans l'art aztèque, le serpent à deux têtes apparaît sous forme de méandre. Conservé aujourd'hui au British Museum, il est constitué de bois incrusté de turquoise et de coquillages (figure 49). Il était une représentation de TLALOC, le dieu aztèque de la pluie et était porté en pendentif par un prêtre sacré. On suppose que ce bijou faisait partie du trésor envoyé à CORTEZ par MOCTEZUMA afin de le convaincre de quitter le Mexique.

49

Le serpent à deux têtes, représentation du dieu aztèque de la pluie

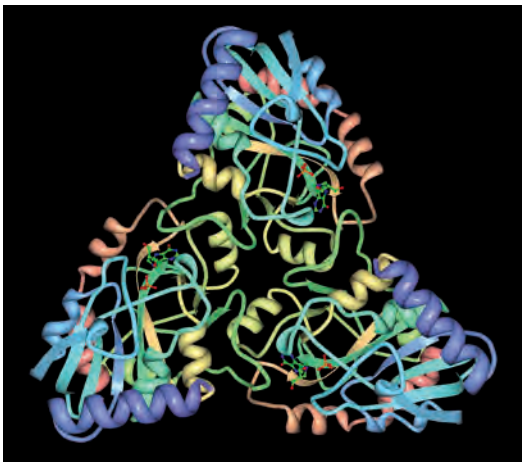
Le méandre existe aussi dans une forme géométrique avec des angles droits, comme le montre la figure 31, dans les poteries grecques. Sous cette forme, il a été adopté comme élément pictural avec le strict usage du blanc et du noir par Julije KNIFER, peintre croate et l'un des membres actifs du groupe GORGONA à Zagreb. Le groupe GORGONA fut fondé en 1959 par des artistes et des critiques d'art qui se revendiquaient de l'esprit dadaïste impliquant une liberté absolue de création. Le méandre a été conçu par KNIFER comme une anti-peinture. Il prend tout son sens dans le mouvement d'abstraction constructive dans les années 1960. La figure 50 représente l'un de ses tableaux peint en acrylique.

50

Julije KNIFER - AP 39 - acrylique sur toile 140 × 140 cm

[coutoisie de Galerie Onirisis Rennes]

Les protéines dimériques ont obligatoirement une symétrie axiale binaire ; les protomères coïncident par une rotation de 180° autour d'un axe binaire. Les protéines qui possèdent un nombre impair de protomères ont nécessairement une symétrie cyclique. C'est le cas de la 2-céto-3-désoxyphosphogluconate aldolase (Kdpg) du cycle des pentoses qui est un trimère, ainsi que de la purine nucléoside phosphorylase dont la structure a été déterminée par FEDOROV et ses collaborateurs [23] (figure 59).



59

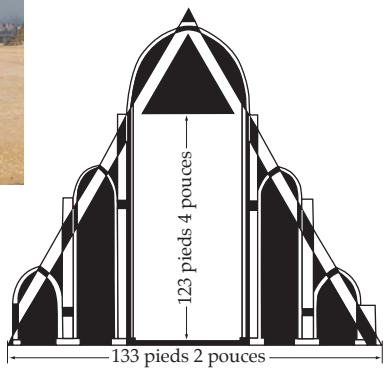
Une protéine trimérique, la purine nucléoside phosphorylase [PDB ID : 1n3i]

Cette organisation triangulaire peut être rapprochée de certaines constructions architecturales, comme en témoignent les pyramides d'Egypte (figure 60). Le plan de la cathédrale de Bourges a été conçu selon la ***Tetraktys*** de PYTHAGORE. La figure 61 en montre la coupe transversale, qui est un triangle équilatéral.

© Joonas PLAAN (masterplaan) / Flickr

60

Pyramides de Gizeh

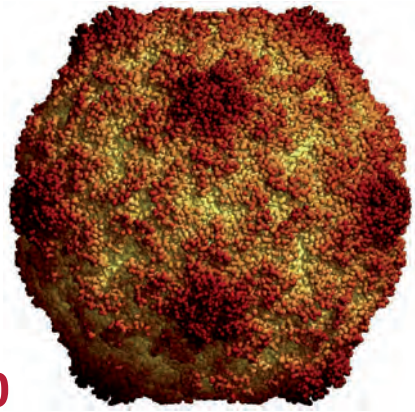


61

Plan de la cathédrale de Bourges

[23] A. FEDOROV, W. SHI, G. KICSKA, E. FEDOROV, P.C. TYLER, R.H. FURNEAUX, J.C. HANSON, G.J. GAINSFORD, J.Z. LARESE, V.L. SCHRAMM & S.C. ALMO (2001) *Biochemistry* **40**, 853-860

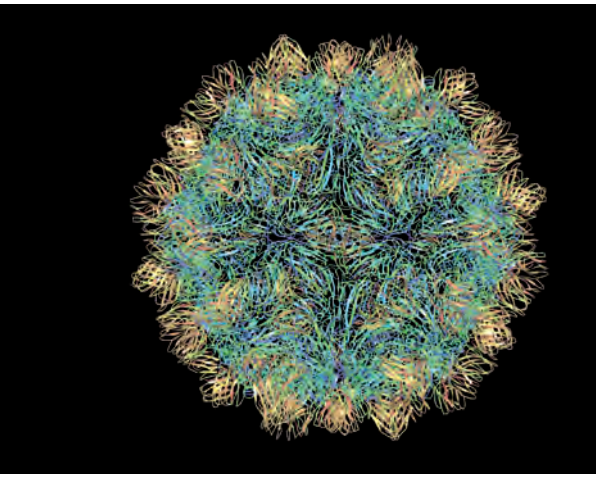
Les virus icosaédriques les plus simples comportent 60 sous-unités identiques. Les copies protéiques représentent l'unité asymétrique. Le virus satellite de la nécrose du tabac (***satellite tobacco necrosis virus*** ou TNV) en offre un exemple. Il contient une molécule d'ARN de 1120 nucléotides qui code pour la protéine de capside, laquelle comporte 195 acides aminés. Le diamètre interne de la capside est de l'ordre de 180 Å. Sa structure a été déterminée aux rayons X en 1982 à 3,5 Å de résolution par Bror STRANSBERG et ses collègues à Uppsala et affinée en 1984 par ALWYN-JONES et LILJAS à 2,5 Å de résolution [11]. La structure globale du virus est représentée sur la figure 70.



70

Le virus satellite de la nécrose du tabac [PDB ID : 1c8n]

Certains virus ont un plus grand nombre de sous-unités. Afin de préserver la symétrie, ce nombre doit être un multiple de 60. Les multiples de 60 observés dans les virus icosaédriques sont 1, 3, 4 et 7. CASPAR et KLUG ont appelé ces multiples, les nombres de triangulations T. Par exemple, le nombre de triangulation 3 signifie que le nombre de sous-unités est $60 \times 3 = 180$. La structure du virus de la tomate, résolue en 1978 par Stephen HARRISON et ses collaborateurs à l'Université de Harvard, se situe dans cet ordre de complexité [12]. Le virus contient 180 sous-unités identiques de 386 acides aminés. L'unité asymétrique est un trimère. Le diamètre de la particule de 330 Å permet d'accommoder une plus grande molécule d'ARN (figure 71).

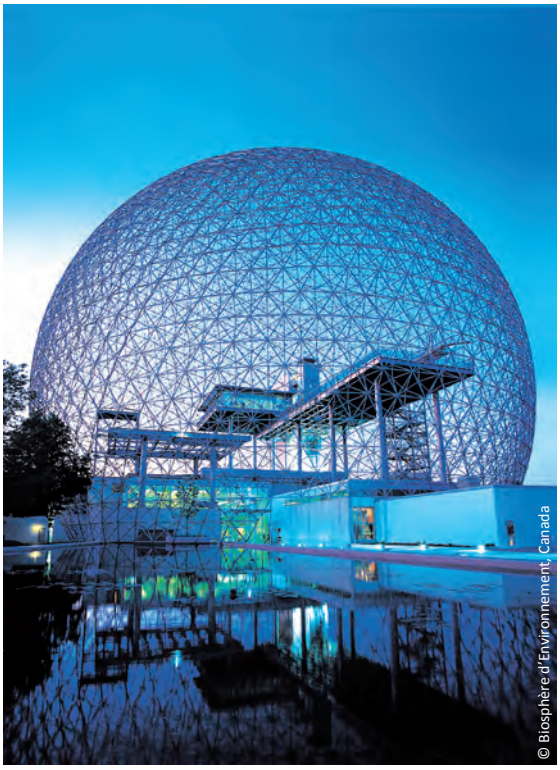


71

Le virus de la tomate [PDB ID : 2tbv]

[11] T. A. JONES & L. LILJAS (1984) «Structure of satellite tobacco necrosis virus after crystallographic refinement at 2,5 Å resolution» *J. Mol. Biol.* **177**, 735-767

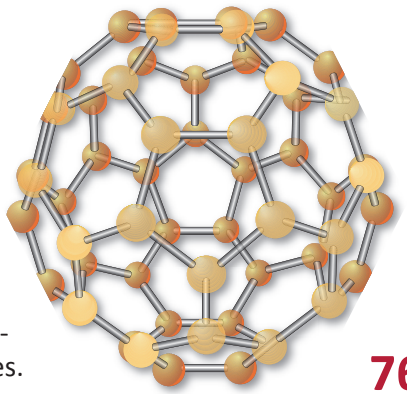
[12] S.C. HARRISON (1978) «Tomato bushy stunt virus at 2,9 Å resolution» *Nature* **276**, 368-373



Il est tout à fait remarquable que, pour établir les principes présidant à la géométrie des virus icosaédriques, CASPAR et KLUG aient été inspirés par les principes appliqués par BUCKMINSTER FULLER dans la construction des dômes géodésiques. La ressemblance entre les dômes géodésiques et les virus icosaédriques avait attiré leur attention (figure 75).

75

La Biosphère, symbole de l'Exposition universelle de Montréal en 1967



76

Molécule de fullerène

Comme l'hélice, la structure icosaédrique est une forme universelle que l'on retrouve aussi dans le monde organique et inorganique. Les fullerènes (du nom de B. FULLER), composés de type graphite à 60 atomes de carbone, présentent une telle structure (figure 76). Certains alliages métalliques forment des cristaux icosaédriques.

Une fois encore, il convient de remarquer qu'aux différents niveaux de structure et de complexité l'organisation moléculaire s'effectue spontanément pour aboutir aux mêmes formes géométriques, à travers une combinatoire d'éléments simples et toute une hiérarchie d'assemblage. Les mêmes principes sont utilisés aujourd'hui en architecture où des simplex représentés par les polyèdres pythagoriciens sont emboîtés les uns dans les autres pour former différents types de structure assurant la stabilité de l'ensemble [18]. Ces formes polyédriques se rencontrent aussi dans les arts et les architectures à travers les siècles et dans différentes cultures. Elles sont apparues dès le Néolithique. Des centaines de pierres taillées qui remontent à environ 2000 ans avant J.C.

[18] D.G. EMMERICH, *op. cit.*

L'énergie qui dirige la formation d'une capside virale est fournie par les interactions entre sous-unités. La grande stabilité des virus résulte principalement des interactions entre sous-unités protéiques. Et comme l'ont énoncé Caspar et Klug : ***The same dynamic construction principles are likely to apply to organized cellular components as well as to viruses*** [20].

La stabilité des macromolécules biologiques et des assemblages multimoléculaires résulte donc d'un compromis entre l'énergie de stabilisation par un ensemble d'interactions faibles et l'effet compétitif de différents facteurs entropiques dépendant de la mobilité conformationnelle et de la solvatation, ce qui se traduit par une optimisation de la fonctionnalité.

Dans le monde vivant qui est un système ouvert, comme dans certaines réactions chimiques et dans divers phénomènes physiques, des structures organisées apparaissent loin de l'équilibre ; ce sont des structures dissipatives qui obéissent à la thermodynamique des systèmes irréversibles. Là encore, la compétition entre différentes forces est à l'origine de ces phénomènes. ***Competition is the heart of beauty and complexity in pattern formation*** [21]. Bien que loin de l'équilibre, les structures engendrées présentent souvent une remarquable harmonie avec des formes symétriques. A titre d'exemple, la figure 80 représente les motifs formés par une colonie de bactéries *Escherichia coli* (le colibacille) croissant sur un gel dans des conditions défavorables, telles que la rareté de nourriture ; sous l'effet d'un signal chimique, elles sont contraintes à s'agréger et engendrent ce type de motifs qui présentent une symétrie.

80

Organisation des bactéries *Escherichia coli* dans des conditions de carence alimentaire

[© Elena Budrene, planche n°8 intitulée «Chevron patterns in a colony of *Esccherichia coli* grown in a gel» (24-25) from Ph. Ball (1999) *The self-made tapestry. Patterns formation in Nature*, Oxford University Press, Oxford, avec la permission de Oxford University Press]

L'architecture, qui doit composer avec diverses forces mécaniques, recherche des combinaisons structurales stables. Ceci conduit à une rigueur de la forme et à un équilibre dans la composition. Dans ce but, elle s'appuie sur des principes géométriques analogues à ceux qui président à la construction des molécules du vivant. Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, depuis l'Antiquité le nombre d'or a été largement utilisé en architecture. Il se retrouve dans la construction des pyramides, en

[20] ***Les mêmes principes de construction dynamique s'appliquent probablement aux composants cellulaires organisés aussi bien qu'aux virus***, D.L. Caspar & A. Klug (1962) *op. cit.*

[21] ***La compétition est le cœur de la beauté et de la complexité dans la formation de motifs***, Ph. Ball (1999) *op. cit.*

7 - Beauté et vérité en science

La philosophie positiviste avait introduit un dualisme entre vérité et beauté, inférant que la vérité relève uniquement de la science et que la beauté est étrangère à la signification scientifique du monde. Cependant la plupart des découvertes importantes qui ont marqué ces derniers siècles ont montré que la beauté est un moteur essentiel de la connaissance. La science a pour but la recherche de la vérité et la démarche du scientifique qui l'appréhende requiert l'objectivité. La démarche de l'artiste est une recherche esthétique qui fait appel à la sensibilité. Ces deux démarches sont-elles incompatibles ou existe-t-il une convergence ? Bien qu'il soit difficile de définir la vérité et la beauté, ces notions ont fait l'objet de différents développements philosophiques. Au risque d'un survol trop rapide, nous en présenterons quelques aspects et nous tenterons de montrer que la beauté est un attribut de la vérité. L'analyse du développement scientifique nous apprend que les facteurs esthétiques ont joué un rôle significatif dans l'élaboration des sciences. Nous examinerons l'importance des critères esthétiques dans la démarche du scientifique et dans le choix des théories. C'est ce double aspect que nous souhaitons discuter.

La démarche du scientifique dans les différents champs disciplinaires est conduite par la recherche de la vérité. Mais qu'est-ce donc que le vrai ? Le concept de vérité implique un rapport de conformité de l'objet avec l'idée que nous nous en faisons. La vérité comporte une cohérence logique et un caractère d'universalité. D'après Kant, l'accord des idées entre elles, c'est-à-dire la cohérence, est une condition suffisante de la vérité en mathématique et dans les sciences formelles, mais elle est seulement nécessaire dans les sciences expérimentales. La vérité a un caractère universel, elle est donc objective, car en accord avec l'expérience universelle des hommes. L'intersubjectivité est une condition nécessaire à la compréhension objective de la réalité scientifique. La vérité est l'accord de la pensée avec la réalité qui est l'objet ; elle a un caractère d'objectivité. Son domaine d'application est la connaissance du réel.

Pour Kant[1], la raison fixe le but de la science, l'entendement en détermine la forme générale, tandis que l'expérience sensible fournit le contexte empirique de la connaissance. C'est la sensibilité qui appréhende les objets, c'est l'entendement qui les pense et fournit les concepts. Kant distingue la sensibilité qui reçoit les impressions des organes des sens, l'entendement qui procède à la synthèse des impressions sensibles et la raison génératrice de concepts. ***Il n'y a que les objets des sens qui***

[1] E. Kant (1781) *Critique de la raison pure*, trad. fr. J. Barni, J. Gibert, Paris