

L'ART, LA BIOLOGIE ET LES MOLÉCULES

par

François GROS

Séance du 7 décembre 2011

La transversalité culturelle est souvent de règle à l'Institut de France. N'est-ce pas d'ailleurs là sa vocation première tandis que le monde d'aujourd'hui semble davantage menacé par l'étanchéité des spécialisations ?

De là à demander au biologiste que je suis – plongé de longue date dans le monde si particulier des molécules – de venir s'exprimer devant l'Académie des beaux-arts, devant vous, chers confrères, mesdames, messieurs ! N'y a-t-il pas de quoi surprendre ?

Sans doute, l'amitié qui s'est nouée au cours des années, entre le secrétaire perpétuel, Arnaud d'Hauterives, et moi n'est-elle pas étrangère à cette situation. Pourtant, cela n'eût certes pas suffi à justifier cette conférence dont le titre pourra sembler bien singulier ! Aussi me faut-il dire à présent quelques mots de mon parcours personnel, lequel fut, dans ses débuts, fort imprégné des « choses de l'art... ».

Une adolescence à Honfleur

Un mien parent (du moins par un second mariage de ma mère) fut un artiste peintre du genre « figuratif ». Il s'était fait connaître, avant la dernière guerre, par des œuvres d'une grande sensibilité, principalement des paysages ou des « natures mortes » et quelques portraits.

Il affectionnait le charmant port d'Honfleur, dans le Calvados. Adolescent, je vécus quelque temps avec ma mère et mon beau-père dans cette ville étonnante, à la fois vieux port de pêche à l'estuaire de la Seine et centre touristique, patrie d'Eugène Boudin, à laquelle sont associés tant d'autres noms non moins célèbres : Alphonse Allais, Lucie Delarue-Mardrus, Henri de Régnier, Erik Satie, Albert Sorel. C'est d'ailleurs dans le collège Albert-Sorel que je « fis mes humanités », comme on le disait à l'époque ! J'accompagnais souvent mon beau-père dans ses « explorations » à la recherche de quelques effets de paysages ; je connus quelques grands noms de la peinture, tel Otton Friesz, l'un des créateurs du fauvisme !

Est reproduit ici (figure 1) un paysage peint par mon beau-père : la rade d'Honfleur à l'entrée du port.

Tout cela se rapporte à cette époque singulière, au cours de ce que l'on a appelé la « drôle de guerre », notamment en 1939, avant le cataclysme que l'on sait. Plus tard, après la guerre, maintes occasions me furent offertes de fréquenter le milieu des peintres, par exemple au sein de la Cité des artistes, grand bâtiment de la rue Ordener à Montmartre, sorte de phalanstère où travaillaient et habitaient une foule de peintres. Rien d'étonnant à ce que, parallèlement à mes études, je me sois adonné au dessin, sans dépasser l'amateurisme !

Les scientifiques et l'art

Mais laissons là ces témoignages par trop personnels. Pourtant la forte attirance qui demeure aujourd'hui la mienne pour l'expression artistique, principalement en peinture – mais d'ailleurs également dans la sphère musicale – n'est qu'un exemple, parmi bien d'autres, des relations que peuvent développer les scientifiques en général avec l'art.

On évoque souvent, à cet égard, le cas d'Alexandre Borodine, l'auteur du *Prince Igor*, des *Danses polovtsiennes* et d'une riche musique de chambre. Médecin militaire, il fut un professeur agrégé de chimie fort apprécié, avant de s'adonner à la musique... en autodidacte !

Fait curieux, c'est souvent parmi les biologistes ou les médecins que s'observe une propension, souvent très forte, à la pratique des arts. Peut-on trouver meilleur exemple que celui du grand Louis Pasteur lui-même ? Sait-on que dans son jeune âge, il s'adonna au dessin et à la peinture avec passion ? Portraitiste affirmé, il s'était taillé une réputation grandissante en Arbois. En témoignent certaines œuvres pieusement conservées au musée de l'institut Pasteur, tels les portraits de ses parents. Il voulut épouser la carrière de portraitiste et s'inscrire à l'École des beaux-arts, mais rencontra une vive opposition paternelle. Songeons au retard qu'auraient connu sans cela la microbiologie, l'étude des fermentations, la vaccination...



Figure 1 – On peut voir ici un aspect typique de l'entrée du vieux port. Mon beau-père, Jean Dreyfus-Stern, a peint ou dessiné bien d'autres lieux typiques de la ville (le Vieux Bassin, l'église Sainte-Catherine, la Lieutenance, la chapelle de Notre-Dame-de-Grâce...).



Figure 2 – Jacques Monod, l'un des grands « cerveaux » scientifiques de notre temps, était chef d'orchestre et excellent musicien. Comme Louis Pasteur, il éprouva, dans ses débuts, la tentation de s'adonner exclusivement à l'art.

Plus près de nous, deux grands biologistes, André Lwoff et François Jacob, ont éprouvé eux aussi une passion très vive pour la peinture. André Lwoff s'y consacra d'ailleurs entièrement après sa retraite. Quant à Jacques Monod, qui partagea avec les deux biologistes précédents le prix Nobel de physiologie et de médecine en 1965, il hésita longtemps entre une carrière de chef d'orchestre, ou de violoncelliste, et la recherche en biologie (figure 2).

De la notion d'esthétique en sciences

Pourquoi cette affinité si fréquente des scientifiques pour l'expression artistique ? Est-ce là pur effet du hasard ? Ne peut-on plutôt se demander si la démarche scientifique elle-même n'impliquerait pas chez ceux qui s'y adonnent une recherche plus ou moins consciente de l'esthétique ? Qu'il en soit ainsi dans le monde des ingénieurs n'étonnera personne ! Mais qu'en est-il des sciences fondamentales, telles que les mathématiques ?

Mon collègue, Yves Christen, s'exprimant ici même¹, en 2006, citait à cet égard une phrase d'Henri Poincaré :

« On peut s'étonner de voir invoquer la sensibilité à propos de démonstrations mathématiques qui, semble-t-il, ne peuvent intéresser que l'intelligence ; ce serait oublier le sentiment de la beauté mathématique, de l'harmonie des nombres et des formes, de l'élégance géométrique. C'est un vrai sentiment esthétique que tous les mathématiciens connaissent ! C'est bien là de la sensibilité. »

Mais revenons à la biologie et à ses rapports avec l'esthétique. De quoi peut donc parler un biologiste s'adressant à l'Académie des beaux-arts ? N'est-ce pas de toute évidence... de la biologie de l'esthétique ? C'est ce qui fut précisément développé, ici même, de façon brillante, par Yves Christen, déjà cité, lequel a analysé par exemple les bases neurophysiologiques de

1. Yves Christen, *Communications 2006*, Académie des beaux-arts, séance du 29 mars 2006, page 27.

l'esthétique, en s'intéressant aux aires cérébrales qui se trouvent activées par le sentiment que nous sommes amenés à éprouver face à la beauté ! Jean-Pierre Changeux, neurobiologiste de réputation internationale, a consacré lui aussi à ces questions une grande part de ses recherches et de ses réflexions². Nous serons conduits à y revenir. Pour ma part, ma spécificité scientifique se rapprochant plutôt de la chimie et de la physique moléculaires ainsi que de la génétique, j'aimerais tenter de répondre aux questions suivantes :

- Existe-t-il des gènes de la sensibilité artistique ?
- Qu'est ce que la science nous apprend quant aux beautés de la nature ?
- Peut-on parler d'esthétique à propos des arrangements moléculaires tels que l'étude des cellules nous les livre lorsque les techniques modernes nous permettent de les analyser et faut-il voir, par exemple, dans la symétrie, un principe d'organisation... qui serait en quelque sorte inhérent à la vie ?

Les gènes et la sensibilité artistique

La sensibilité artistique serait-elle génétiquement déterminée, question à bien des égards in-orthodoxe et de nature à faire frémir les artistes eux-mêmes, mais que l'on est toutefois enclin à poser dans le cadre de l'investigation présente.

S'il existe des gènes de prédisposition au sentiment du beau et à la création artistique, on en ignore la nature. Plus simplement, la question peut se poser dans les termes suivants : y a-t-il une hérédité du talent artistique ? On connaît en musique de véritables « dynasties » de compositeurs, la plus célèbre se rapportant aux parents ou descendants directs de Jean-Sébastien Bach, (comme il existe des familles où priment les qualités pour le dessin, la peinture, la sculpture). Mais, encore une fois, si de telles situations relèvent d'une transmission héréditaire au sens génétique du terme, plutôt que de l'apprentissage ou de l'environnement culturel dans les familles considérées, on serait fort en peine pour le dire.

D'ailleurs, le goût, le talent, la créativité artistique traduisent un comportement psycho-émotionnel très complexe que les neurobiologistes contemporains ont tenté d'analyser et dont ils ont montré qu'il fait intervenir diverses régions du cortex (cortex orbito-frontal, médian et pariétal). Or ces gènes interviennent à coup sûr dans le développement plus ou moins prononcé et dans l'« architecture » de ces différentes aires cérébrales, et ce déterminisme génétique peut donc, indirectement, influencer les facultés correspondantes, mais, si l'on connaît beaucoup de choses concernant les gènes de développement du système nerveux central chez l'animal de laboratoire, les connaissances des relations entre gènes et cerveau humain demeurent fragmentaires.

2. Jean-Pierre Changeux, Antonio Damasio, Wolf Singer et Yves Christen (sous la dir. de), *Neurobiology of Human Values*, Berlin, Springer Verlag, 2005.

Nature et émotions

La contemplation de la matière, y compris celle du monde vivant « ondoyant et divers », est souvent chez l'homme source d'émotions, comme si notre cerveau dégagait de cette contemplation le sentiment plus ou moins marqué d'une beauté, d'une harmonie ou, inversement, de déchaînement, de menaces inhérents aux formes, aux contours, aux couleurs et aux sons... bref à toute une série de signaux parvenant à nos sens.

Divers scientifiques se sont déjà penchés sur ce processus émotionnel, souvent source d'inspiration chez l'artiste. On sait que la perception globale que nous dégageons du monde extérieur, n'est, au fond – comme semblent le démontrer les neurobiologistes – que l'extraction par notre cerveau de « signaux significatifs » émanant des objets ou des êtres vivants ainsi perçus, signaux qui sont, en quelque sorte, sélectionnés et « reconstruits » par notre cerveau. « La beauté des choses, a dit David Hume, existe dans l'esprit de celui qui les contemple. » « Voir, c'est croire », a écrit le grand biologiste Francis Crick, l'un des découvreurs de la « double hélice d'ADN ». Il n'en demeure pas moins que lorsque nous contemplons le monde extérieur, y compris

celui du vivant, nous sommes avant tout sensibles, ainsi qu'ont pu l'établir les scientifiques, à une certaine symétrie.

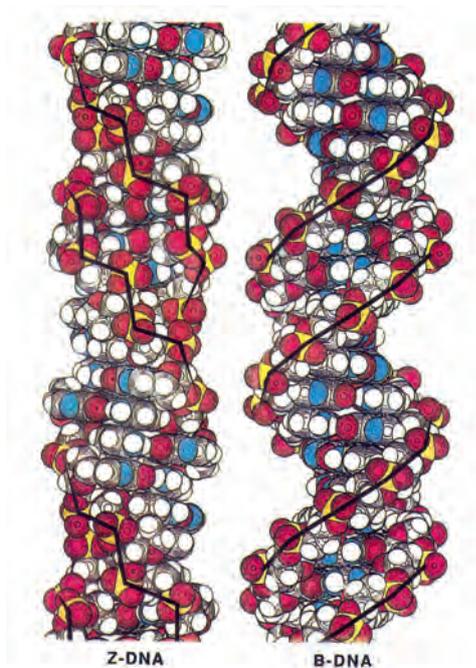


Figure 3 – La double hélice d'ADN. Chacun des deux brins complémentaires résulte, chez l'homme, de l'enchaînement de 3,5 milliards de petites unités moléculaires (nucléotides) et correspond à 25 000 gènes.

La symétrie : un principe d'organisation du vivant à l'échelle moléculaire ?

La symétrie dans l'espace, la régularité des formes moléculaires, celle de leurs agencements complexes à l'intérieur de nos cellules, serait-elle de règle dans le fonctionnement du vivant à l'échelle du monde microscopique ? L'auto-organisation moléculaire telle qu'apparue aux origines de la vie aurait-elle reposé sur le principe de symétrie ?

Pour tenter de répondre à cette troublante question, nous examinerons quelques molécules dont la biologie moderne nous a révélé le rôle essentiel dans le fonctionnement et le développement cellulaires.

Celle qui, de toute évidence, s'impose en premier lieu ici n'est autre que l'ADN, cette « molécule symbole », aujourd'hui connue de tous (!), et dont sont constitués les gènes de toute cellule et de nombreux virus (figure 3).

Comme l'ont établi James Dewey Watson, Francis Crick et Maurice Wilkins (tous trois Prix Nobel) en 1953, sans oublier ici le rôle clé de Rosalinde Franklin, morte prématurément, l'ADN se présente comme une « double hélice » : deux longues chaînes entrelacées, accolées l'une à l'autre par ce que les biochimistes appellent des « liaisons hydrogène » (il s'agit de liaisons faibles, de sorte que l'hélice peut se dissocier par simple chauffage³).

L'ensemble donne l'impression d'un vaste escalier « en colimaçon », dont les chaînes d'ADN constitueraient les rampes. Mais ce qui frappe et, d'une certaine manière, a séduit, tant le public dans son ensemble que le monde savant, c'est la régularité, la parfaite symétrie de cette grande molécule présente dans les chromosomes de tous les êtres vivants organisés (mais aussi chez les micro-organismes).

Chacun sait aujourd'hui le rôle majeur que joue l'ADN en tant que support chimique de notre hérédité, laquelle est définie par la nature des enchaînements des « motifs » A, T, G ou C, enchaînements qui caractérisent la « séquence » de chacune des chaînes de la double hélice ; bref, nos gènes sont, en première approximation, des segments plus ou moins longs d'ADN.

La symétrie de l'ADN, la symbolique qui y demeure attachée, ont d'ailleurs inspiré bien des artistes, peintres ou sculpteurs.

Ainsi, lorsque l'on contemple la structure d'une molécule d'ADN, on serait enclin à penser que le type d'agencement symétrique ainsi reflété correspondrait à la « solution », au principe directeur choisis par la nature aux origines de la vie (il y a 3,5 milliards d'années) lorsque l'on est passé de la matière inerte aux premières architectures moléculaires propres à la vie des cellules. De là à dire que la vie, c'est la symétrie ? Pourtant, de même qu'un texte ne revêt sa véritable signification que si nous sommes à même de le lire, l'ADN seul, en soi, est une molécule « inerte ». Il ne peut ni se reproduire ni transmettre le message dont il est porteur à la cellule, sans le concours obligatoire des autres catégories de molécules que sont les protéines et les acides ribonucléiques (ARN).

Les molécules responsables de notre métabolisme, de notre interaction avec le milieu (signalisation), etc., bref de notre physiologie, sont en effet les protéines et les ARN.

Enzymes, ARN, et l'asymétrie dans la vie cellulaire

En effet les enzymes qui catalysent toutes les réactions du métabolisme (mais sont également essentiels à la biosynthèse des constituants cellulaires), les anticorps ainsi que les récepteurs

3. L'accolement des deux chaînes formant l'entrelac de la double hélice ne se fait pas au hasard ! Chaque chaîne est formée par des millions ou des milliards de petits éléments, dont les plus caractéristiques sont les « bases » A, T, G ou C. L'ordonnement de ces éléments par groupe de trois est ce qui constitue le « code » de notre hérédité (dit code génétique) ; ce code est donc assimilable à un texte dont les motifs A, T, G et C seraient les lettres. Or l'appariement de chaque chaîne d'ADN pour former la double hélice répond à des règles de complémentarité stricte entre les quatre bases, tels que A:T (ou T:A) et G:C (ou C:G).

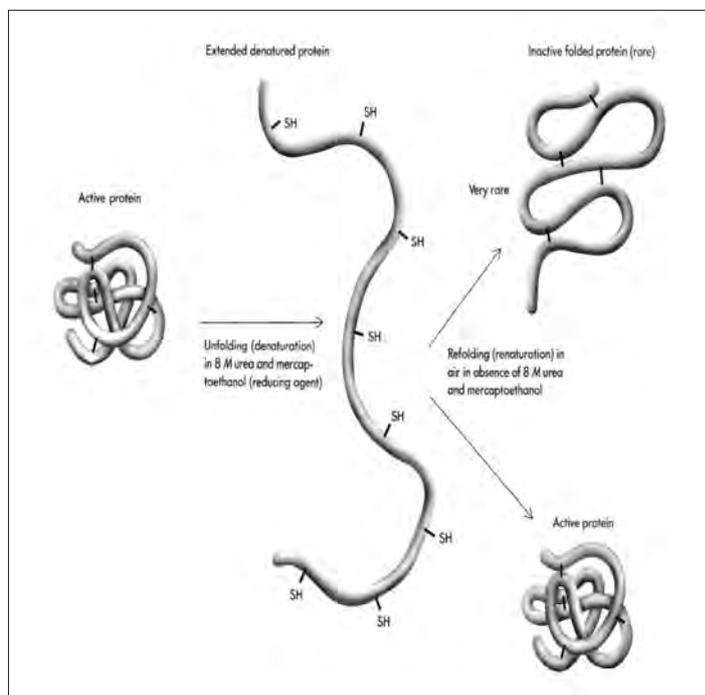


Figure 4 – Les protéines « globulaires » (artisans du métabolisme) sont tissées sous forme de longs filaments lesquels s'enroulent spontanément, une fois leur synthèse achevée, adoptant des formes prédéterminées par la séquence chimique du filament.

membranaires ou la plupart des hormones et des substances intervenant dans la neurotransmission, en somme, la grande majorité des éléments responsables de la physiologie sont des protéines !

Les ARN, quant à eux, interviennent dans le déchiffrement du code génétique de l'ADN, ainsi que dans de nombreux processus responsables de l'identité et de la régulation cellulaires.

Or dans la majorité des cas, si l'on exclut le groupe des protéines dites « fibreuses » qui sont des éléments de revêtement (membranaires), de rigidité cellulaire ou de conduction de certains signaux (cytosquelette) et qui ont des formes régulières, les protéines douées d'effets catalytiques, de capacités de signalisation ou de défenses vis-à-vis des agents nuisibles présentent au contraire des formes irrégulières dans l'espace et sont fortement asymétriques.

Cette asymétrie résulte du « repliement » des molécules protéiques au

cours de leur formation, comme l'illustre la figure 4, se présentant dans une première étape comme des sortes de filaments linéaires au niveau des sites de biosynthèse, sites appelés « ribosomes » (sortes de granules existant en très grand nombre dans la cellule) les protéines, dites « globulaires », adoptent, une fois détachées du ribosome, une forme enroulée et complexe, d'apparence irrégulière⁴.

On comprend mieux dès lors pourquoi la nature a en quelque sorte choisi de se démarquer ici de la symétrie : en effet, sans l'adoption de la forme tridimensionnelle complexe qui caractérise ces protéines globulaires (celle notamment des enzymes, des anticorps), celles-ci seraient incapables de « reconnaître » et de fixer, en des sites spécifiques, les substrats dont elles catalysent la conversion chimique.

4. Ce mode d'enroulement est prédéterminé par la séquence (en amino-acides) de la chaîne filiforme synthétisée dans un premier temps.

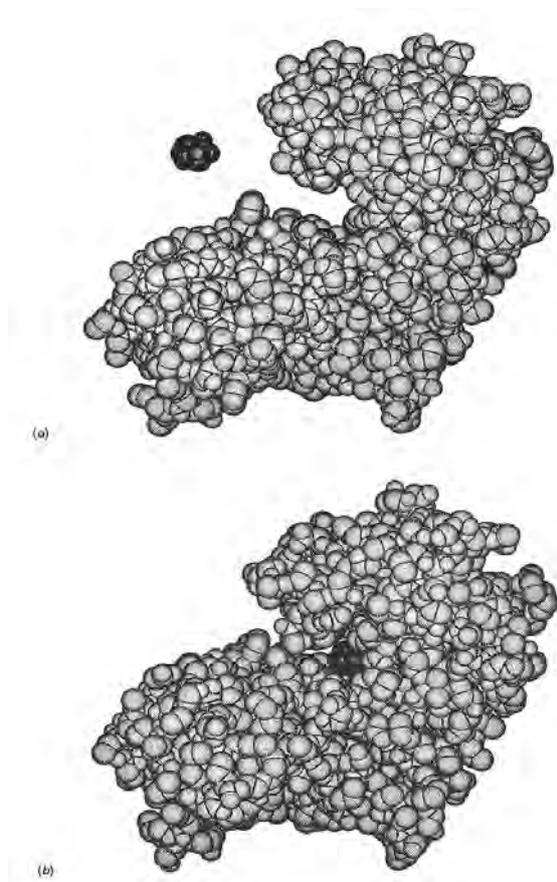


Figure 5 – Les sites de fixation du glucose par l'hexokinase, une enzyme qui convertit ce sucre en glucose-G-phosphate.

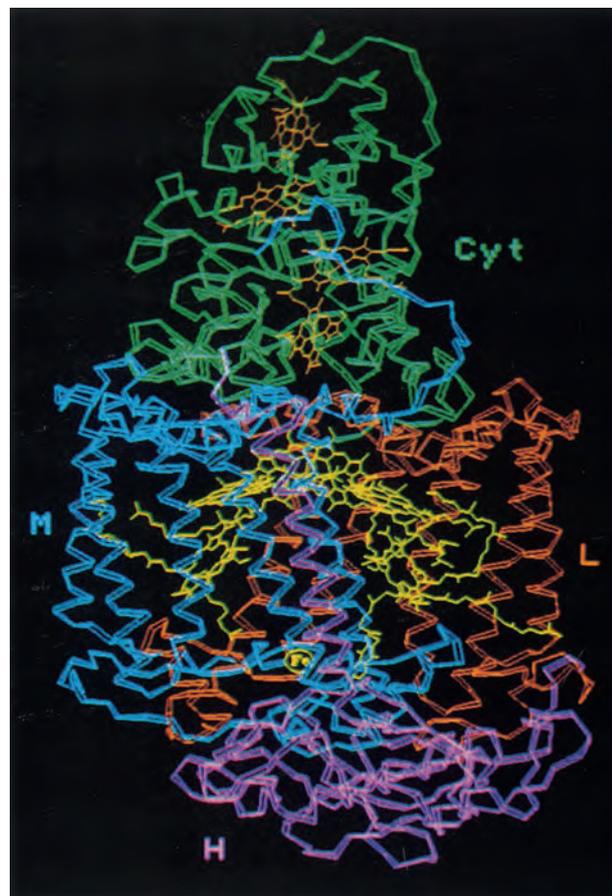


Figure 6 – Structure tridimensionnelle du complexe protéique, responsable de la photosynthèse, chez une cyanobactérie. Ces protéines, couplées à des ions Mg^{++} ont sans doute été responsables des premiers dégagements d'oxygène par un organisme biologique, à la surface de la terre (photolyse de l'eau).

On peut voir, à titre d'exemple (figure 5), une enzyme particulière, l'hexokinase, fixant sur son site actif une molécule de glucose avant de lui adjoindre un atome de phosphore.

Souvent, plusieurs protéines s'associent pour accomplir leur fonction. Elles forment un complexe. C'est le cas, par exemple, du complexe multiprotéique responsable de la photosynthèse, tel qu'on est parvenu à en établir la structure après l'avoir isolé d'une cyanobactérie. Les cyanobactéries sont des bactéries très anciennes, sans doute responsables de l'élévation du taux d'oxygène sur la terre, il y a 2,5 milliards d'années. En captant l'énergie lumineuse, ce complexe protéique a permis à certaines cellules où il s'est formé de décomposer l'eau et de libérer l'oxygène dans l'atmosphère (figure 6).

Il semble toutefois, selon les spécialistes, que les toutes premières molécules qui se soient assemblées, dès les origines de la vie (il y aurait 3,5 milliards d'années), aient été des acides ribonucléiques (ARN), avant que n'apparaissent les protéines. Or les ARN – dont certains ont, comme les enzymes, des propriétés catalytiques – présentent également des conformations asymétriques dans l'espace.

On peut donc penser que les molécules « fonctionnelles » au sens biologique du terme, celles qui ont permis l'émergence de la vie cellulaire sur notre planète, ont sans doute été, presque toutes, des molécules asymétriques, molécules dont les caractéristiques tridimensionnelles furent à l'origine des milliers d'interactions avec des éléments minéraux ou des composés organiques propres au métabolisme des premières cellules et des organismes vivants actuels.

« La beauté, aurait dit Jean Cocteau, est asymétrique et boiteuse. »

Pour conclure, je me suis à nouveau interrogé sur les similitudes et les différences pouvant exister dans les démarches respectives du scientifique et de l'artiste (le terme de scientifique étant pris ici dans son acception fondamentale).

Il y a, à mon sens, une assez grande communauté dans les deux démarches. D'une certaine manière, elles témoignent l'une et l'autre d'un esprit d'aventure et d'un goût réel pour la recherche.

Mais la recherche artistique débouche sur une pleine création *de novo*, quelle que soit la valeur esthétique de cette création. Elle demeure empreinte de la personnalité de l'auteur. Tandis que la recherche scientifique, lorsqu'elle se traduit par un résultat concret, ne fait que « révéler », en somme, une loi, un état particulier de la nature dans son essence physico-chimique.

Les découvertes en science fondamentales ne sont donc pas, à proprement parler – et contrairement d'ailleurs aux inventions de l'ingénieur –, des créations reflétant la personnalité de l'auteur même si la fréquence, l'enchaînement logique de ces découvertes peuvent refléter le talent (parfois même le génie) du découvreur !

De ce point de vue, l'art nous émeut souvent plus que la science, mais vous conviendrez, mesdames et messieurs, qu'ils ont l'un et l'autre bien des affinités profondes.

