

Université Charles de Gaulle Lille-3 et Collège de France

en collaboration avec la Maison des sciences de l'homme du Pas-de-Calais (Institut International Erasme), dans le cadre de ses programmes: 'La science dans ses contextes' (Shahid Rahman) et 'Preuve' (Fabienne Blaise), et les Ecoles doctorales TESOLAC et ACCES,

quatre **Leçons d'épistémologie des sciences du vivant**

par

Anne FAGOT-LARGEAULT

Collège de France - Chaire de philosophie des sciences biologiques et médicales

4

EXPLIQUER

Lille, Maison de la recherche, 11 02 03, 17h-19h

Plan de l'exposé

1. L'explication scientifique selon Emile Meyerson (1859-1933).
2. Pluralité des modèles d'explication.
3. Expliquer ce que c'est (ex. 'si c'était un serin, il serait jaune'). Le modèle nomologique-déductif. La 'logique' de l'explication. Expliquer, est-ce prédire?
4. Expliquer d'où cela vient (ex. chercher les 'antécédents'). La dérivation historique. En quoi un récit est-il explicatif?
5. Expliquer comment cela est engendré (ex. l'étiologie de la fièvre puerpérale). Dépendance causale. Chaînes causales.
6. Expliquer à quoi cela est bon (ex. fonction des protéines humaines: à quoi sert l'hémoglobine?). Théologie, téléologie, téléonomie.
7. Explication structurale. Morphologie, morphogenèse. Modélisation. Biologie 'théorique'.

Extraits et références

«J'ai l'impression de me déprécier quand j'explique, dit-il. Des résultats sans cause sont beaucoup plus impressionnants» (Conan **Doyle**, 'L'employé de l'agent de change', in: *Souvenirs de Sherlock Holmes*).

«Le mot latin *plica*, qui a fait en français pli, a la même signification que le terme qui en dérive, et expliquer équivaut donc à peu près à déplier, avec cette nuance (que le suffixe *ex*, en tant que comparé à *de*, accentue suffisamment) qu'il s'agit moins de rendre l'étoffe plane et lisse, que de faire sortir, de montrer ce qu'elle cachait dans ses plis» (Emile **Meyerson**, *De l'explication dans les sciences*, Paris: Payot, 1921, chap. 1; 2e éd. 1927; réimpr. Fayard, 1995).

«En recherchant l'explication d'un phénomène, ce que le physicien poursuit en réalité, c'est la démonstration que l'état conséquent ne diffère point du précédent, mais peut au contraire être considéré comme lui étant identique. La science s'applique donc, en l'espèce, à rendre identiques, pour la pensée, des choses qui ont tout d'abord paru différentes à la perception» [ex. réduction des choses aux atomes qui les constituent, ou à la spatialité, démonstrations sous forme d'une 'cascade d'égalités', selon l'expression de Poincaré] (Emile **Meyerson**, *Du cheminement de la pensée*, Paris: Alcan, 1931, chap 2, § 28).

«Nous savons où la rationalisation complète est impossible, c'est-à-dire où l'accord entre notre raison et la réalité extérieure cesse: ce sont là les irrationnels déjà découverts. Mais nous ne savons pas - et ne saurons jamais - où il existe, puisque nous ne pourrions jamais affirmer qu'il n'y aura plus de nouveaux irrationnels à ajouter aux anciens. C'est ce qui fait que nous ne pourrions jamais déduire réellement la nature, même en tenant compte de tous les éléments donnés et irréductibles, de tous les irrationnels que nous connaissons à un moment précis; toujours nous aurons besoin de nouvelles expériences et toujours celles-ci nous poseront de nouveaux problèmes, feront éclater, selon le mot de Duhem, de nouvelles contradictions entre nos théories et nos observations» (Emile **Meyerson**, 1921, Chap. 5, p. 225).

«the notion of explaining the variety of the world ... by non-variety was quite absurd. How is variety to come out of the womb of homogeneity; only by a principle of spontaneity, which is just that virtual variety that is the first» (Charles **Peirce**, *Collected Papers*, 1, §3, 373).

«Expliquer, explicare, c'est dépouiller la réalité des apparences qui l'enveloppent comme des voiles, afin de voir cette réalité nue et face à face» (Pierre **Duhem**, *La théorie physique*, I, 1).

«nous disons que les phénomènes généraux de l'univers sont expliqués, autant qu'ils puissent l'être, par la loi de la gravitation newtonienne, parce que, d'un côté, cette belle théorie nous montre toute l'immense variété des faits astronomiques, comme n'étant qu'un seul et même fait envisagé sous divers points de vue; la tendance constante de toutes les molécules les unes vers les autres en raison directe de leurs masses, et en raison inverse des carrés de leurs distances; tandis que, d'un autre côté, ce fait général nous est présenté comme une simple extension d'un phénomène qui nous est éminemment familier, et que, par cela seul, nous regardons comme parfaitement connu, la pesanteur des corps à la surface de la terre. Quant à déterminer ce que sont en elles-mêmes cette attraction et cette pesanteur, quelles en sont les causes, ce sont des questions que nous regardons tous comme insolubles...» (Auguste **Comte**, *Cours*, 1830, Première leçon).

«Every scientific explanation of a natural phenomenon is a hypothesis that there is something in nature to which the human reason is analogous; and that it really is so all the successes of science in its applications to human convenience are witnesses» (Charles Sanders **Peirce**, *Collected Papers*, I § 316).

«Lorsque nous parlons de causes et d'effets, nous faisons arbitrairement ressortir, dans la copie mentale d'un fait, les circonstances dont nous devons estimer l'enchaînement dans la direction qui est importante pour nous. Dans la nature il n'y a ni causes, ni effets. La nature n'est présente qu'une fois» (Ernst **Mach**, 1925, IV, 4, §3, p. 451).

«Je ne connais pas de théorie satisfaisante et complète de l'explication, et je crois qu'il n'en existe pas» (Jean **Largeault**, *Philosophie de la nature* 1984, Créteil: UPXII, 1984, I; 'De l'explication').

«Broadly speaking, science explains why a given event came about by showing that it occurred in certain particular circumstances (in the natural sciences often called initial and boundary conditions) in accordance with certain general laws of nature or well-established theoretical principles. [...] Thus, the phenomenon is explained by showing that, under the given particular conditions, it 'had to' occur according to the specified laws. The explanatory account can accordingly be conceived as a deductive argument whose premises - jointly referred to as the explanans - consist of the relevant laws and of descriptions of the particular circumstances, while the conclusion, the so-called explanandum sentence, describes the phenomenon to be explained (Carl G. **Hempel**, 'Science unlimited?', *Annals of the Japan Association for Philosophy of Science*, Tokyo, 1973, 4 (3): 36).

«la théorie physique ne nous donne jamais l'explication des lois expérimentales; jamais elle ne nous découvre les réalités qui se cachent derrière les apparences sensibles; mais plus elle se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales est le reflet d'un ordre ontologique; plus nous soupçonnons que les rapports qu'elle établit entre les données de l'observation correspondent à des rapports entre les choses; plus nous devinons qu'elle tend à être une classification naturelle» (Pierre **Duhem**, *La théorie physique. Son objet - sa structure*, Paris: Marcel Rivière, 1906; deuxième édition revue et augmentée, 1914, I, 2, p. 35).

«La division scolastique se fait par classes, elle répartit les animaux selon des ressemblances; celle de la nature se fait par souches, elle les répartit selon les liens de parenté, du point de vue de la génération. La première fournit une systématisation scolastique à l'usage de la mémoire; la seconde une systématisation naturelle à l'usage de l'entendement; la première n'a d'autre dessein que de ranger les créatures sous des rubriques, la seconde vise à les ranger sous des lois.» (I. **Kant**, 'Des différentes races humaines', 1777).

«...les caractères n'ont d'importance réelle pour la classification qu'autant qu'ils révèlent les affinités généalogiques» / «ne possédant point de généalogies écrites, il nous faut déduire la communauté d'origine de ressemblances de tous genres» (Ch. **Darwin**, *The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, London: John Murray, 1859, chap XIV; tr. fr. E. Barbier, Reinwald, 1896).

«La systématique telle qu'elle est présentée classiquement donne une impression de permanence et de stabilité: il existe des espèces aux caractères définis, et dont les représentants se reproduisent en conservant les mêmes caractères de génération en génération. Qui plus est, la distribution géographique de ces espèces et leur organisation en écosystèmes apparaît elle-même relativement constante; c'est ainsi que l'on établit, par exemple, des cartes de la végétation, ce qui implique que l'organisation de cette végétation présente une certaine permanence. Pourtant, cette apparente stabilité n'est qu'une approximation, valable sur des durées suffisamment brèves. A plus grande échelle de temps, l'organisation de la vie se révèle être au contraire en perpétuel remaniement. Les écosystèmes évoluent et se transforment; et les espèces elles-mêmes apparaissent, font expansion et finissent par disparaître. En bref, la vie est fondamentalement un système dynamique, et l'on ne peut envisager de traiter complètement de notions telles que systématique, biodiversité et évolution sans prendre en compte ce caractère dynamique» (in: **Académie des Sciences**, *Systématique. Ordonner la diversité du vivant*, rst n° 11, dir. S. Tillier & P. de Wever, Paris: Tec & Doc, octobre 2000, chap. 4, § 1.10).

«Biology is indeed a historical discipline. But the main principles of Darwin's theory are not historical narratives - not even world-historical ones. They are the only (ceteris paribus) laws of biology» (Alexander **Rosenberg**, 'How is biological explanation possible?', 2002).

«The conception of an order of nature as dynamic equilibrium with a calculable past and future history became an integral part of the distinctive scientific genetic method or method of historical derivation. Scientific historical derivation, as distinct from the antecedent ancient Babylonian or Egyptian or Hebrew or Greek myths of the creation or making of the world, may be dated from the Greek philosophical commitment in the 6th and 5th centuries B.C. to a world generated by a natural causal process embodying the operation of natural laws over a long time. Thus Diodorus Siculus, in reporting earlier opinions about the origins of the universe and of mankind, contrasted with one group of authorities who held that everything had always existed as it was, another who argued that the world, living things, man and civilization had all been brought from an undifferentiated beginning into their present state by natural processes 'which may still be observed'. All living things and 'every form of animal life' were generated from moist earth by solar heat. Men gathered together under expediency and necessity from their first undisciplined life of beasts into groups for protection and mutual aid, learnt to communicate by articulate speech, and so developed language and likewise the material arts of civilization» (Alistair C. **Crombie**, *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*, London: Duckworth, 1994, vol. III, Part VII, chap. 21, p. 1551-1552).

«Peut-être l'époque où nous vivons est-elle destinée à remettre la narration en honneur? ... On est las de voir l'histoire, comme un sophiste docile et gagé, se prêter à toutes les preuves que chacun en veut tirer. Ce qu'on veut d'elle, ce sont des faits ... évoqués et ramenés vivants sous nos yeux» (Prosper de **Barante**, 1824, Préface à *l'Histoire des ducs de Bourgogne*, in: Marcel **Gauchet**, ed., *Philosophie des sciences historiques*, Lille: PUL, 1988).

«le mot d'explication est pris, tantôt dans un sens fort où expliquer veut dire 'assigner un fait à son principe ou une théorie à une théorie plus générale', comme font les sciences ou la philosophie; tantôt dans un sens faible et familier, comme lorsque nous disons: 'laissez-moi vous expliquer ce qui s'est passé et vous allez comprendre'» ... «Nous montrerons ... qu'en dépit de certaines apparences et de certaines espérances il n'existe pas d'explication historique au sens scientifique du mot, que ces explications se ramènent à des explications au second sens du mot ... Chacun sait qu'en ouvrant un livre d'histoire il le comprend, comme il comprend un roman ou ce que font ses voisins; autrement dit,

expliquer, de la part d'un historien, veut dire 'montrer le déroulement de l'intrigue, le faire comprendre'. Telle est l'explication historique: toute sublunaire et pas scientifique du tout; nous lui réserverons le nom de compréhension» (Paul **Veyne**, *Comment on écrit l'histoire. Essai d'épistémologie*, Paris: Seuil, 1971, chap. 6).

«la composition historique tient ... plus de l'art que de la science» (**Cournot**, *Essai sur les fondements de nos connaissances...*, 1851, chap. XX: 'Du contraste de l'histoire et de la science, et de la philosophie de l'histoire').

«Historians ... aim to assert warranted singular statements about the occurrence and the interrelations of specific actions and other particular occurrences. However, although this task can be achieved only by assuming and using general laws, historians do not regard it as part of their aim to establish such laws» (Ernest **Nagel**, *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*, London: Routledge & Kegan Paul, 1961, chap. 15: 'Problems in the logic of historical enquiry').

«With respect to the place of laws of nature in working out the history of the earth and its inhabitants, we may confidently draw the conclusion that such laws do indeed exist, and also that they may indeed be used to infer the truth of historical hypotheses. However, in reconstructing history on this basis, there are many serious difficulties, not the least of which is the problem of distinguishing between legitimate laws of nature and historical contingencies. On top of that, we have to know what the laws are, and also how to apply them. And finally, when we do apply them, we find that we cannot do so in the absence of a vast quantity of empirical data about individuals. The laws of nature may tell us what is possible, but that only limits the number of acceptable hypotheses. An ideal evolutionary biology would present the entire history of life, in a manner that made it clear what was historical accident and what was nomologically necessary, and of course what laws applied and why, but that ideal is only beginning to be realized» (Michael T. **Ghiselin** *Metaphysics and the Origin of Species*, New York: State Univ of NY Press, 1997, chap. 15).

«L'histoire d'un animal doit être, non pas l'histoire de l'individu, mais celle de l'espèce entière de ces animaux» (**Buffon**, *Histoire naturelle*, 1749, Premier discours: 'De la manière d'étudier et de traiter l'histoire naturelle').

«I was compelled to ask whether cadaverous particles had been introduced into the vascular systems of those patients whom I had seen die of this identical disease. I was forced to answer affirmatively» ... «The fetus, as yet unborn and in the birth canal, does not resorb foul animal-organic matter when it is touched by the examiner's contaminated fingers, but only when its blood is organically mixed with the mother's blood that has already become contaminated. This explains why an infant never dies of childbed fever while the mother remains healthy; childbed fever does not arise in the newborn through direct resorption. Both become ill while the child and mother are in organic interchange through the placenta...» (Ignaz F. **Semmelweis**, *Die Aetiologie, der Begriff und die Prophylaxis des Kindbettfiebers*, Budapest, 1861; Engl. tr. 'The etiology, concept, and prophylaxis of childbed fever', in: **Buck Carol**, **Llopis Alvaro**, **Nájera Enrique**, **Terris Milton**, eds., *The Challenge of Epidemiology. Issues and Selected Readings*, Washington DC: PAHO-WHO, 1988, Scientific Publication n° 505).

«For want of a nail a shoe was lost; for want of a horse a rider was lost; for want of a rider a battalion was lost; for want of a battalion a battle was lost; for want of a victory a kingdom was lost - all for want of a nail» (Norwood Russell **Hanson**, *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge: CUP, 1958, chap. III.).

«L'événement C_t est une cause présomptive de l'événement E_t si, et seulement si:

(1) $t' < t$, (2) $P(C_t) > 0$ et (3) $P(E_t | C_t) > P(E_t)$.»

(Patrick **Suppes**, 'A probabilistic theory of causality', *Acta Philosophica Fennica*, 1970, XXIV, chap. 2, definition 1).

«The conclusion that cigarette smoke is a direct cause of cancer derives from many different types of epidemiological evidence, combined with the fact that the smoke can cause cancer in experimental animals.» (**Doll & Peto**, *The Causes of Cancer. Quantitative Estimates of Avoidable Risks of Cancer in the United States Today*, Oxford: OUP, 1981, p. 1220).

«Statistical and causal relations constitute the patterns which structure our world - the patterns into which we fit events and facts we wish to explain. Causal processes play an especially important role in this account, for they are the mechanisms which propagate structure and transmit causal influence in this dynamic and changing world. In a straightforward sense, we may say that these processes provide the ties among the various spatio-temporal parts of our universe» (Wesley C. **Salmon**, in: R. **McLaughlin**, ed., *What? Where? When? Why?*, Dordrecht: Reidel, 1982, p. 175-176).

«Causal processes are distinguished from pseudo-processes in terms of their ability to transmit marks. In order to qualify as causal, a process need not actually be transmitting a mark; the requirement is that it be capable of doing so» (Wesley C. **Salmon**, *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton: PUP, 1984, chap. 5, p. 147). [the 'at-at' theory of causal propagation]

«The jackrabbits which inhabit the hot arid regions in the southwestern part of the USA have extraordinarily large ears. If we ask why they have such large ears, the answer is not 'the better to hear you with, my dear'. Instead, the large ears constitute an effective cooling mechanism. If the body temperature begins to rise, the numerous blood vessels in the ears dilate, and warm blood from the interior of the body circulates through them. The animal seeks out a shady spot, heat is radiated from the ears, and the body temperature is reduced. The jackrabbit has these large ears because they constitute an effective mechanism for temperature regulation» (Wesley C. **Salmon**, 1982).

Pour tous ces gens téléologie devient aussitôt théologie, et à chaque finalité découverte dans la nature, au lieu de méditer et de chercher à comprendre, ils laissent éclater ce cri puéril: design! design!» (Arthur **Schopenhauer**, *Die Welt als Wille und Vorstellung*, 3e ed. 1859, tr. fr. A. Burdeau, Suppl. L.II, chap. 26, 'De la téléologie').

«L'organisation de la nature n'offre rien d'analogue avec une causalité quelconque à nous connue. [...] La perfection naturelle interne que possèdent certaines choses possibles seulement comme fins naturelles et qui s'appellent pour cela êtres organisés, n'est concevable ni explicable par aucune analogie de quelque puissance physique, c'est-à-dire naturelle, connue de nous, et même pas, puisque nous appartenons à la nature au sens le plus large, par une analogie exacte avec l'art humain» (**Kant**, *Critique de la faculté de juger*, 1790, II, § 65).

«La vie, réduite à sa notion la plus simple et la plus générale, est essentiellement caractérisée par le double mouvement continu d'absorption et d'exhalation, dû à l'action réciproque de l'organisme et du milieu ambiant, et propre

à maintenir, entre certaines limites de variation, pendant un temps déterminé, l'intégrité de l'organisation» (**Comte**, *Cours de philosophie positive*, 41e Leçon).

«Certaines machines sont intrinsèquement intentionnelles. Une torpille avec un mécanisme d'autoguidage en est un exemple. Le terme de servo-mécanisme a été forgé précisément pour désigner les machines à comportement intentionnel intrinsèque. [...] Les comportements actifs intentionnels peuvent être subdivisés en deux classes: comportements à rétroaction (ou téléologiques) et sans rétroaction (ou non-téléologiques). [...] Les comportements intentionnels à rétroaction peuvent, à leur tour, être subdivisés. Ils peuvent être extrapolateurs (prédictifs) ou non-extrapolateurs (non-prédictifs)» (Arturo **Rosenblueth**, Norbert **Wiener**, Julian **Bigelow**, 'Behavior, purpose and teleology', *Philosophy of Science*, 1943, X: 18; tr. fr. J. Piquemal, 'Comportement, intention, téléologie', *Etudes philosophiques*, 1961 (2): 155).

«... redécouvrir les propriétés les plus générales qui caractérisent les êtres vivants et les distinguent du reste de l'univers. ... Nous en avons trouvé trois: téléonomie, morphogenèse autonome, invariance reproductive. [...] Nous choisirons arbitrairement de définir le projet téléonomique essentiel comme consistant dans la transmission, d'une génération à l'autre, du contenu d'invariance caractéristique de l'espèce. Toutes les structures, toutes les performances, toutes les activités qui contribuent au succès du projet essentiel seront donc dites "téléonomiques"... Le "niveau téléonomique" d'une espèce donnée correspond à la quantité d'information qui doit être transférée, en moyenne, par individu, pour assurer la transmission à la génération suivante du contenu spécifique d'invariance reproductive» (Jacques **Monod**, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris: Gallimard, 1970, Chap. 1: 'D'étranges objets').

«All teleonomic behavior is characterized by two components. It is guided by a 'program' and it depends on the existence of some end point, goal, or terminus which is foreseen in the program that regulates the behavior. This endpoint might be a structure, a physiological function, the attainment of a new geographical position, or a 'consummatory' act in behavior. Each particular program is the result of natural selection, constantly adjusted by the selective value of the achieved endpoint» (Ernst **Mayr**, 'Teleological and teleonomic, a new analysis', in: *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 1974, XIV: 91-117).

«The issue at hand is, how to account for design, as in the design of the eye, without a designer. The conundrum was solved by Charles Darwin. [...] It was Darwin's greatest insight to discover that the directive organisation of living beings can be explained as the result of a natural process, natural selection, without a need to resort to a Creator or other external agent. [...] Natural selection has no foresight, nor does it operate according to some preconceived plan. [...] The traits that organisms acquire in their evolutionary histories are not fortuitous but determined by their functional utility to the organisms. [Definition:] Teleological explanations account for the existence of a certain feature in a system by demonstrating the feature's contribution to a specific property or state of the system, in such a way that this contribution is the reason why the feature or behavior exists at all» (Francisco J. **Ayala**, 'Adaptation and novelty: teleological explanations in evolutionary biology', *Hist Phil Life Sci*, 1999, 21 (1): 3-33).

«L'observation de malades atteints de lésion cérébrale nous apprend que l'organisme lésé a tendance à maintenir sa capacité fonctionnelle à un niveau aussi élevé que possible par rapport à ce qu'elle était auparavant. Lorsqu'un domaine fonctionnel est altéré, ce sont les opérations les plus importantes qui sont préservées le plus longtemps ou sont rétablies de la façon la plus parfaite. La vision de l'hémianopsique nous en fournit un exemple particulièrement instructif» (Kurt **Goldstein**, *Der Aufbau des Organismus*, The Hague: Martinus Nijhoff, 1934).

«savoir que les blessures rondes guérissent plus lentement que les autres relève du médecin, et savoir pourquoi, du géomètre» (**Aristote**, *Anal. post.*, I, 13, 79 a 14-16).

«En parlant de forme et de finalité on met l'accent sur les conditions globales et spatiales dans la production des phénomènes. La science contemporaine a favorisé, au contraire, les conditions locales et matérielles. La biologie moléculaire et la mécanique quantique illustrent bien cette tendance analytique. Ces deux voies, l'explication par le haut et l'explication par le bas, sont nécessaires et compatibles. Ainsi, un reproche possible à la science contemporaine n'est pas qu'elle choisit la méthode locale, analytique et matérialiste, mais que souvent elle l'utilise exclusivement» (Miguel **Espinoza**, *Théorie de l'intelligibilité*, Toulouse: EUS, 1994, p. 36).

«We want to see how, in some cases at least, the forms of living things, and of the parts of living things, can be explained by physical considerations, and to realise that in general no organic forms exist save such as are in conformity with physical and mathematical laws» (D'Arcy Wentworth **Thompson**, *On Growth and Form*, Cambridge: CUP, 1917, 2nd ed. 1942, Intr. p. 15; tr. fr. abrégée par D. Teyssié, préface de S.J. Gould, av. prop. de A. Prochiantz, *Forme et croissance*, Paris: Seuil, 1994).

«a new mathematical theory, the theory of structural stability, inspired from qualitative dynamics and differential topology, seems to offer far-reaching possibilities to attack the problem of the stability of self-reproducing structures, like living beings. But - at least in the author's opinion - the validity of this type of dynamic description exceeds by far the biological realm, and may be applied to all morphological processes, whether animate or inanimate, where discontinuities prohibit the use of classical quantitative models» (René **Thom**, in: Conrad H. **Waddington**, ed., *Towards a Theoretical Biology*, Four Symposia on Theoretical Biology, International Union of Biological Sciences & Edinburgh University Press, Edinburgh, vol. III Drafts, 1970, p. 89).

«Theoretical biology may be described as the application of reason to biology. In this sense, every biologist is, at least part of the time, a theoretical biologist. However, the daily goal of a theoretician is to explain the biological world. The theoretical biologist's product is a theory, an idea, not an observation or an experimental result, though it is based on them. This is what sets the theoretical biologist apart from other biologists. The theoretical biologist delves deeply into all the data available, comes up with unexpected relationships, tries to quantify them using all the tools of reason (math, logic, computers, etc.), and makes specific predictions about the outcome of future experiments and observations. Sometimes a critical experiment would never have been done without the inspiration of your theory in the first place. There is nothing more satisfying than seeing your theory proven correct» (Richard **Gordon**, President, Canadian Society for Theoretical Biology, <http://life.biology.mcmaster.ca/>).

«Il s'enquit de la cause et de l'effet, et de la raison suffisante qui avaient mis Pangloss dans un si piteux état. 'Hélas, dit l'autre, c'est l'amour...'» (**Voltaire**, *Candide*, 1759, chap. 1).