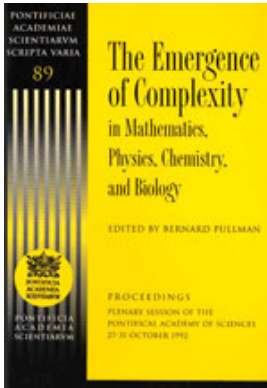




## The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology



Plenary Session 27-31 October 1992

B. Pullman (ed)

*Scripta Varia 89*

Vatican City, 1994

pp. XX-474

ISBN 0-691-01238-5

### Preface

La vingt-huitième réunion plénière de l'Académie Pontificale des Sciences, qui s'est tenue à la Casina Pio IV, au Vatican, du 27 au 30 Octobre 1992, a été marquée par deux événements importants dont ce Volume perpétue la mémoire. D'abord, comme il est de tradition dans ces réunions, l'Académie a consacré une grande partie de son activité à une discussion scientifique. Le thème offert à sa réflexion par le Conseil sur proposition de son Président, le Professeur Marini-Bettòlo (malheureusement absent de la réunion pour cause de maladie): "L'Emergence de la Complexité en Mathématique Physique, Chimie et Biologie", été particulièrement bien choisi à cause de son importance dans le contexte scientifique actuel, de son aspect pluridisciplinaire et aussi en raison de sa portée philosophique et des résonances religieuses que certaines de ses ouvertures ne manquent pas de susciter chez certains. Il répond par son envergure à la vocation de l'Académie Pontificale qui est de "promouvoir les progrès des sciences et l'étude des problèmes épistémologiques s'y référant ... et pouvant contribuer à l'approfondissement des questions morales, sociales et spirituelles" (articles 2 et 3 des Statuts). Rien n'illustre mieux la richesse des débats dont le thème choisi a été l'objet que la nature des mots-clés qui apparaissent constamment sous la plume des participants et dont chacun pourrait constituer, seul ou couplé avec un terme complémentaire ou opposé judicieusement choisi, le thème d'une réunion séparée. Ordre et désordre, chaos et organisation, diversité et classification, hasard et nécessité, origine (du monde, de la vie, de la mort) et évolution, entropie et anthropie, le plein et le vide (le plein du vide et le vide du plein), la téléonomie et la téléologie, le réductionnisme et le holisme, sont quelques-uns des concepts qui constituent les multiples facettes du problème de l'émergence de la complexité, autour desquelles se sont organisées des discussions hardies et animées. Les familiers de l'histoire et de la philosophie des sciences reconnaîtront dans le choix de ces concepts l'écho des angoisses spirituelles qui accompagnent la réflexion des hommes sur la nature et le sens de l'Univers depuis la plus lointaine antiquité. Qui dit émergence de complexité présuppose un instant de départ où celle-ci fut absente. Il est aujourd'hui quasiment admis que tel était la situation aux origines du monde - au Big Bang, à la naissance de l'espace, de la matière, de l'énergie et du temps - et que l'univers a commencé dans l'état le plus simple d'équilibre thermodynamique. C'est en particulier la thèse défendue, entre autres, par notre éminent confrère Stephen Hawking. La complexification du monde, l'apparition et le développement des structures diverses et composées et des forces multiples est une caractéristique de son évolution et de son ... refroidissement. L'amplification de la complexité paraît avoir été progressive - confirmant ainsi la réalité d'une "flèche de temps" cosmologique -, les êtres vivants doués de conscience représentant son apogée momentanée. Les mémoires contenus dans ce Volume traitent en grande partie de la matérialité de cette évolution dont ils soumettent le(s) mécanisme(s) à une analyse scientifique et philosophique. En effet, contrairement à ce que croyait Diderot lorsqu'il écrivait que "l'esprit doit être plus étonné de la durée hypothétique du chaos que de la naissance de l'Univers", ce schéma évolutionnaire, qui implique la génération de l'ordre à partir du désordre, se heurte, à première vue, au 2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique qui nous enseigne juste le contraire, à savoir que l'univers doit évoluer toujours dans le sens du désordre croissant. Il paraît établi aujourd'hui que ce conflit n'est qu'apparent et que cette loi ne s'oppose pas à la création de l'ordre (organisation des structures et leur complexification) en certain endroits de l'Univers à condition que se

produise en d'autres lieux un désordre compensatoire plus grand, de sorte que le *bilan net* soit un désordre croissant. L'expansion de l'Univers et la création continue du désordre par les étoiles qui convertissent leurs atomes (d'hydrogène) en énergie (lumière et chaleur) garantissent sinon la pérennité du moins la longévité de cette compensation. De fameux développements récents auxquels sont attachés les noms d'Ilya Prigogine et de notre confrère Manfred Eigen ont montré que les systèmes physiques déportés loin de l'équilibre thermodynamique deviennent instables et assument spontanément, par l'établissement de corrélations de longue portée, des structures organisées ("structures dissipatives"). Ces phénomènes s'observent aujourd'hui facilement dans le monde inanimé. De là à imaginer qu'ils ont pu se produire à une échelle plus complexe et être à l'origine de la formation des structures primitives pouvant conduire éventuellement à l'apparition des organismes vivants, il n'y a qu'un pas, grand il est vrai, que certains n'hésitent toutefois pas à franchir. Paul Valéry, lui, exprime cette réussite de la matière par un des aphorismes, quelque peu paradoxaux, dont il a le secret: *La Vie est un désordre qui fonctionne*. La structuration et la complexification ainsi permises par les lois de la physique, une question cruciale qui se pose est de savoir s'il est possible d'explicitier, dans le même cadre, les caractéristiques des "propriétés émergentes", propriétés nouvelles qui apparaissent lors de la structuration d'un ensemble plus ou moins complexe à partir de constituants plus simples. C'est le vieux problème du tout qui est plus que la somme des parties, de l'information englobée dans le tout dépassant la somme des informations contenues dans les parties. Dans la terminologie moderne il met en jeu les approches dites holiste et réductionniste de la vision des choses. Le problème apparaît naturellement déjà au niveau de l'émergence des complexités les plus élémentaires. Toutefois, dans le monde matériel auquel nous avons aujourd'hui affaire, tout au moins en chimie, physique et biologie, il se pose d'une façon particulièrement évidente au niveau de la combinaison de ces briques fondamentales, sinon élémentaires, dont sont construits tous les objets de l'Univers, à savoir au niveau de l'association des atomes\*. Rappelons que l'objection principale contre la doctrine démocratienne, qui affirmait que tous les objets étaient formés par "l'agglomération", "l'agglutination" des atomes indivisibles et impénétrables, était que cette représentation ne permettait pas d'expliquer et encore moins de prévoir l'émergence et la nature des propriétés nouvelles dont étaient doués les objets composés (nous dirions aujourd'hui, en premier lieu, les molécules). L'objection, formulée déjà par Aristote et reprise au cours des siècles, en fait des millénaires, par tous les antiatomistes de l'histoire - et Dieu sait s'il en eut et ceci jusqu'au début du siècle actuel -, n'a été mise en défaut que durant les dernières décennies, en fait depuis l'avènement de la mécanique quantique dont les méthodes permettent de comprendre le mécanisme de la formation des associations d'atomes (atomes "modernes", il est vrai, qui ne sont plus aussi simples que les atomes "antiques") et de prévoir la nature des propriétés émergentes. A ce point de vue, l'étude quantique de la molécule d'hydrogène, en 1924, par Heiller et London représente une étape cruciale dans le traitement explicite des propriétés émergentes des structures composées (à distinguer de l'émergence des propriétés statistiques, résultant d'une action combinée d'une grande quantité d'entités indépendantes, telles les propriétés thermodynamiques, dans l'étude desquelles se sont illustrés au siècle dernier James Clerk Maxwell et Ludwig Boltzmann). Il est long, bien sûr, le chemin qui conduit de la molécule d'hydrogène aux grandes macromolécules biologiques et encore plus long est celui qui aboutit aux êtres vivants. Si nul ne saurait objecter que, quelle que soit la dimension et la complexité d'un arrangement polyatomique, cet arrangement est déterminant pour la nature des propriétés émergentes, les avis deviennent plus nuancés quant à la portée exhaustive de ce facteur au fur et à mesure de l'accroissement de la complexité. De plus, si personne aujourd'hui ne défend la cause "d'atomes vivants, sensibles et intelligents" (comme le firent, au Siècle des Lumières, Maupertuis et Diderot), l'étude des caractéristiques de la complexité dans les structures vivantes ne saurait se passer d'une prise en compte du rôle de l'environnement: une bactérie, en fait n'importe quel être vivant, a la même structure atomique dans la seconde qui a précédé sa mort et dans la seconde qui l'a suivi. Ce sont ses modalités d'interaction avec l'environnement qui font la différence. De même, il convient de ne pas oublier que la mécanique quantique, doctrine holistique par excellence, souligne la nécessité incontournable d'inclure dans cette vision l'observateur et ses moyens d'investigation et de mesure. Le problème que pose alors certains est de savoir s'il convient d'attribuer à de tels systèmes très complexes des *lois holistiques* qui se surajouteraient aux lois qui définissent les propriétés des unités constituantes. Greffé sur ces réflexions est encore l'interrogation, non moins énigmatique, que pose le principe anthropique, avec son parfum finaliste d'un univers réglé de façon à conduire nécessairement, à une époque de son existence, à l'émergence des êtres conscients. Tous ces problèmes furent évoqués et discutés au cours de notre réunion. Heureusement, le devoir de réserve auquel est tenu le présentateur d'un Symposium polyvalent et multifacial m'autorise, m'invite même, à ne pas prendre position sur ces questions délicates et qui suscitent beaucoup de passions, comme en témoignent certaines des présentations et des interventions reproduites dans ce Volume. Je me bornerai simplement à rappeler ici la phrase célèbre de Blaise Pascal qui, je l'espère, satisfera, elle, tout le monde: "Toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties". Nul n'a mieux exprimé la complémentarité des visions réductionniste et holiste

du monde. Dans l'exploration de l'Univers, elles correspondent aux deux vues que l'on obtient par les deux bouts d'une même lorgnette. Si ce premier événement, que j'ai qualifié d'important, de la 28e Session Plénière de l'Académie Pontificale s'est déroulé souvent sur un terrain mouvant et semé d'embûches, le deuxième frappe, au contraire, par son allure de grandiose solidité. Il s'agit de l'Audience solennelle que Sa Sainteté le pape Jean-Paul II a bien voulu accorder à tous les participants à la Session Plénière et à laquelle furent aussi conviés les dignitaires de l'Eglise et les membres du corps diplomatique accrédités au Vatican. Solennelle déjà par le cadre dans lequel elle s'est tenue (Sala Regia) et la composition de l'auditoire, elle l'a été surtout par ce qui en fut l'épisode historiquement le plus significatif et le plus émouvant et qu'il est conventionnel d'appeler la "réhabilitation" de Galilée. "L'affaire Galilée", qui fut depuis plus de 3 siècles et demi une pomme de discorde entre la Science et l'Eglise a trouvé ce jour-là (31 Octobre 1992) un dénouement heureux. Ce fut l'aboutissement d'une initiative prise par Jean-Paul II, peu de temps après son élévation au Pontificat, désirant voir le cas Galilée réexaminé dans un esprit d'équité par un ensemble de personnalités polyvalentes de stature incontestable. Dans ce but, le Pape a institué le 3 Juin 1981, une "Commission Pontificale pour l'étude de la controverse ptoleméo-copernicienne aux XVIe et XVIIe siècles", une manière élégante de considérer le cas Galilée dans une optique plus générale et de le replacer dans l'atmosphère de l'époque, conditions jugées indispensables pour un jugement éclairé et équilibré. Les conclusions auxquelles ont abouti les efforts de cette Commission ont été exposées à l'Académie Pontificale par son Président, Paul Cardinal Poupard, Président du Conseil Pontifical pour la Culture. Le texte de ce rapport figure dans l'annexe de ce Volume et chacun peut donc se rendre compte de l'important travail d'exégèse historique et de réflexion qui fut accompli par les membres de la Commission. On ne peut aussi qu'admirer la franchise intellectuelle et la noblesse de termes qui caractérisent ce texte, rédigé dans le but évident de mettre un terme définitivement aux querelles du passé. La réponse du Saint Père, également reproduite *in extenso* dans l'annexe de ce livre, non seulement endosse les conclusions de la Commission et reconnaît les torts dont Galilée a eu à souffrir de la part de l'Eglise mais, décidément tournée vers l'avenir, réaffirme l'orientation franchement positive que ce Pape a imprimée, dès le début de son Pontificat, à l'attitude de l'Eglise envers la recherche scientifique et qui repose sur le respect mutuel de l'indépendance de la démarche scientifique et de la démarche religieuse, dont les méthodologies propres, estime-t-il, "permettent de mettre en évidence des aspects différents de la réalité". De par ces événements importants et réconfortants qui ont jalonné la 28e Session Plénière, cette réunion occupera une place particulièrement significative dans l'histoire de l'Académie Pontificale. Je ne saurais terminer cette Préface sans exprimer, au nom de tous les participants, notre profonde reconnaissance au Professeur Cabibbo, Président de l'Académie Pontificale et à Monseigneur Dardozi, Chancelier, pour l'excellente organisation intellectuelle et matérielle de cette réunion.

Bernard Pullman