

## Projet: **Les lois des dieux, des hommes et de la nature**<sup>1</sup>

Par Giuseppe Longo

<http://www.di.ens.fr/users/longo> Centre Cavallès, République des Savoires,  
CNRS, Collège de France et Ecole Normale Supérieure, Paris,  
et Department of Integrative Physiology and Pathobiology,  
Tufts University School of Medicine, Boston

### **Introduction**

Au cours de la résidence à l'IEA en 2013/14 de l'auteur de ce projet, GL, il a été déjà possible d'organiser deux réunions interdisciplinaires sur le thème en question. Plus particulièrement, GL a proposé aux résidents de l'IEA deux rencontres informelles entre scientifiques, juristes et historiens, français, chinois, indiens, turques, à partir de la lecture de *Homo Juridicus*, par Alain Supiot. A l'occasion de ces réunions, on a pu poser le problème de comment la notion de loi est non seulement interprétées différemment dans le temps et l'espace du monde, mais aussi discuter de la diversité des liens que ces interprétations ont par rapport aux différentes formes de connaissance, des scientifiques et des humanistes.

Ce projet est surtout un questionnement avec un objectif de fond, à long terme : discuter du sens qui a ou devrait avoir la notion de loi en biologie, à partir de la théorie de l'évolution, par rapport à celui que lui donne la physique moderne et contemporaine. En vue du rôle de paradigme pour les autres disciplines attribué aux lois mathématisées de la physique, de l'économie des équilibres aux dynamiques financières, jusqu'à la quantification en maintes domaines sociaux, nous pensons qu'une réflexion, qui part de l'intérieur des sciences de la nature, puisse aussi contribuer à mieux apprécier la force et les limites de ces transferts.

Or, voilà une première thèse : la notion de loi physique, qui a dominé toutes les références aux "lois de la nature" depuis au moins quatre siècles, est profondément immiscée d'une métaphysique religieuse et de références juridiques qui ont contribué à la façonner, voire à lui donner sa légitimité. Tout en anticipant un objectif qui pourra être falsifié, nous pensons alors que le biais historique et métaphysique, normalement implicite, qui pèse sur la notion de loi de la nature et qui passe principalement, sinon exclusivement, par l'hégémonie ("bien méritée") de la théorisation physico-mathématique, soit aujourd'hui un obstacle à une réflexion originale sur les dynamiques du vivant. On essaiera alors de poser avec rigueur la question de l'intelligibilité et de la normativité dans le cadre des sciences de la vie, au delà des a priori métaphysiques qui gouverne l'intelligibilité physico-mathématique. Par ce biais, on espère aussi contribuer au débat à l'intérieur des sciences humaines, en particulier dans leur rapport aux "lois" telles que proposées par les sciences de la nature.

### **Loi, espace, équations**

Une tradition désormais classique attribue le succès de la révolution scientifique en Europe à la corrélation que les scientifiques révolutionnaires du XVI et XVII siècle ont su faire entre les régularités des phénomènes observés et la notion de loi propre à leur culture religieuse, voire à leur contexte juridique. De différents façons, Cassirer, Needham et maints autres on repris des textes de Léonard da Vinci, Kepler, Giordano Bruno, Galilée ... qui vont effectivement dans ce sens. Certains auteurs, dont Needham, auquel fait référence Supiot, voient aussi l'apport de la généralité et de la force propre à la loi dans les nouveaux états centralisés, unifiés dans la personne du Roi, par rapport aux régimes féodaux, toujours locaux et spécifiques.

Toutefois, cette vision d'un rapport directe et causal entre les concepts de loi divine, voire de loi des hommes, et loi de la nature a été mis en question plus récemment. En effet, l'usage même du terme ne s'est établi que graduellement et de façon très peu uniforme, parfois chez un même auteur. Roux observe, par exemple, que ni Galilée ni Boyle et Mariotte parlent de "loi des chutes des corps" ni de "loi des gaz". Seulement au cours du XVIII siècle l'usage scientifique de ce terme commence à devenir relativement uniforme et général.

---

1 Projet de recherche dirigé par G. Longo à l'Institut d'Etudes Avancées, Nantes (<http://www.iea-nantes.fr>), 2014-17.

Nous proposons alors une première “sous-thèse” à examiner dans ce projet. La notion loi de la nature deviendra une notion précise et uniformément comprise, quand elle aura trouvé, au moins en physique et surtout à partir Newton, son expression rigoureuse sous la forme d'équations<sup>2</sup>. Ce sont les équations (du mouvement, par exemple) qui décrivent la loi (du mouvement) de façon définitive. Or, cela ne sera possible qu'en se donnant la “condition de possibilité”, dira Kant, pour qu'il y ait intelligibilité physique : l'a priori de l'espace (et du temps) dans lequel inscrire les équations. Dans notre opinion, c'est l'encadrement de la loi dans un espace pre-donné qui lui donne son caractère général, rigoureux, en fait pleinement mathématique.

Or, ce passage, historique et épistémologique, ne sera possible que après la mathématisation de l'espace, un enjeu qui a été précédé par des siècles de réflexions théologiques, tout d'abord, et de pratiques artistiques.

En fait, l'“invention de l'espace” est le résultat du croisement d'un long débat philosophique sur l'infini et d'une construction picturale. Euclide mathématise seulement l'infini potentiel, en tant que “apeiron”, sans bornes, bien que “il pratique” l'infini actuel (une question délicate). Par exemple, il considère explicitement la suite croissante, sans limite, des nombres entiers à laquelle *on peut toujours ajouter* des nombres, un infini potentiel, mais il ne considère pas comme infinitaire (et actuelle) la notion de ligne sans épaisseur au cœur de toutes ses constructions.

Depuis au moins Aristote, en fait, on a discuté de la légitimité et du sens du concept d'infini actuel, en tant que donné dans son entièreté, essence ou existence d'un tout auquel *on ne peut rien ajouter*. Le Dieu chrétien pose le problème de cet infini parfait que Saint Thomas, Templier et quelques autres au XIII<sup>e</sup> siècle lui attribuent de façon définitive. Et le débat fait rage, nous explique Zellini, sur la question de la grâce de Marie : peut une femme, finie comme toute femme, recevoir la grâce pleine et infinie qui, seule, peut lui permettre de concevoir le fils de Dieu ? La peinture italienne répondra à cette question : oui, on peut avoir “l'incommensurable dans le mesurable”, dira Saint Bernardin dans ses sermons au début du XV<sup>e</sup> siècle, en montrant ces annonces où l'infini est dans le fini, car le point ou la droite projectifs, limites infinis actuels, organisent visuellement et visiblement l'espace pictural. Ambrogio Lorenzetti, prêtre et théologien, par son annonce de 1344 paraît avoir opérée en premier ce tournant dans notre regard organisateur sur l'espace proposé par la perspective italienne. Le débat à distance entre Panofski et Arasse (voir aussi S. Longo) clarifie cette question, dont on devra discuter dans le cadre de ce projet, pour mieux saisir le passage qui se fait avec Descartes et Desargues vers des nouvelles mathématiques de l'espace. Car, seulement après ces auteurs, il sera possible de donner les *conditions de possibilité* de la connaissance physico-mathématique : l'espace-temps newtonien. Les équations (différentielles) expliciteront alors les *lois* qui trouvent enfin leur description et leur légitimité mathématiquement stables.

### **L'espace de phases et des phénotypes**

Au XIX<sup>e</sup> siècle l'espace kantien de la physique s'étend à *l'espace des phases*, c'est à dire à l'espace des paramètres et observables pertinents, où Hamilton encadre, par les méthodes variationnelles, le principe géodésique. A l'espace, alors, on ajoute l'impulsion et au temps l'énergie. Vers la fin du siècle, Boltzmann et Poincaré font un usage révolutionnaire de ce tournant ; la physique quantique considère ces paramètres et observables comme “conjuguées” et propose par ce biais l'indétermination propre à leur mesure simultanée, dont la différence ne peut aller en dessous du  $h$  de Planck (1900). Le cadre de la légalité s'élargit et se structure ultérieurement, même en quantique : on dérive de l'hamiltonien aussi l'équation de Schrödinger (1925), une loi qui détermine la dynamique d'une amplitude de probabilité (et le caractère indéterministe du quantique est ainsi préservé et ... légalisé). L'espace de phase devient dans ce cas très abstrait : il s'agit de l'espace d'Hilbert où les observables sont les opérateurs bornés (linéaires et symétriques), un espace mathématique qui peut aussi avoir un nombre infini de dimensions. A la même époque, Noether et H. Weyl unifient les lois de la physique en termes de symétries : les principes de conservation, qui permettent d'écrire l'hamiltonien de tout système non-dissipatif, ne sont que des symétries dans les équations, dont les groupes pertinents donnent l'intelligibilité ultime aussi bien de la physique classique et relativiste que quantique. L'unité

---

<sup>2</sup> Bien évidemment, on peut avoir une “solution”, voire une “dynamique”, sans avoir d'équation, par exemple l'intégrale de Feynman ; mais celles-ci seront de considérations propres au XX<sup>e</sup> siècle.

et la force du physico-mathématique atteint alors un sommet de rigueur et généralité parmi les formes de connaissance des hommes.

Contemporain de Hamilton, mais en dehors ou indépendamment de la marche triomphale qui s'annonce de la détermination physique, Darwin propose deux principes pour l'analyse de l'évolution des organismes, dont au moins le premier est un principe de "non-conservation" : "descendance avec modification" (descent with modification), à laquelle s'applique la "sélection", son deuxième principe. Les phénotypes changent en toute circonstance, à chaque reproduction, même si de façon moindre. Nous posons alors la question : peut-on encadrer ces principes dans un même a priori de l'intelligibilité qu'en physique, un espace pre-donné des observables biologiques ? Sont-ils des "lois" dans le même sens que la physique avait bien établi à l'époque ?

Dans notre opinion, il n'y a aucune manière de prédéterminer (mathématiquement) l'espace des évolutions possibles, l'espace des "phases" du vivant. Bref, depuis Ambrogio Lorenzetti et Piero della Francesca, depuis Descartes, Desargues, Newton et Hilbert, nous savons nous donner des infinis mathématiques, en particulier des espaces infinis. Et même l'aléatoire du lancer d'un dé ou d'une pièce de monnaie, ou encore, d'un événement quantique, opère dans un espace prédéfini de toutes les dynamiques possibles. Des symétries (les invariants et transformations mathématiques) permettent de définir géométriquement et formellement ces espaces (des phases, des possibles : les espaces des lois de la physique), même de dimensions infinies.

En revanche, il n'y a aucune façon de prédéterminer l'espace des phénotypes (formes biologiques) possibles au cours de l'évolution – et les phénotypes, voire les organismes, sont les observables biologiquement pertinents. Les phénotypes et les écosystèmes se co-constituent et produisent conjointement l'espace des possibilités. Et des moindres fluctuations dans ces interactions, à l'intérieur, voire entre les différents niveaux d'organisation, ne changent pas seulement des "trajectoires" dans des espaces de phases pre-donnés, comme dans les dynamiques physiques, mais modifient ces espaces mêmes.

Que dire alors des "lois" en biologie, si notre "sous-thèse" est pertinente ? C'est-à-dire, si les "lois de la nature" n'ont acquis un sens rigoureux, mathématique, qu'en se déployant comme équations dans des espaces des phases pre-donnés, alors quel sens ont-elles en biologie ? La recherche acharnée de géodésiques, voire d'hamiltoniens de l'évolution des espèces n'a abouti qu'à des descriptions a posteriori, fort incomplètes, voire erronées, de fragments de celle-ci. Le tournant informationnel n'a fait qu'empirer la situation, en cachant les enjeux : des lois descriptives, organisatrices de l'intelligibilité physique, comme celles de conservation (de l'énergie, de l'impulsion), ont été remplacées, en biologie, par des instructions, un programme, normatif, c'est-à-dire par le codage informatique d'un homunculus (ou animalculus) dans l'ADN, seule cible de la sélection.

Les trajectoires phylogénétiques et ontogénétiques, que nous analysons en termes de "cascades de changements de symétries" (Longo, Montévil) demandent des nouvelles analyses de la détermination et, par conséquent, de l'aléatoire (Buiatti, Longo), où la notion même de loi scientifique, retenue par la physique, est à mettre en question. Nous pensons que cela est possible seulement à partir de son analyse épistémologique et historique.

### **Le frottement entre cultures ; le programme**

Le dialogue esquissé à l'IEA au cours de l'hiver 2014 a permis de saisir la grande différence du regard porté par les autres peuples sur les lois des dieux, des hommes, de la nature.

L'auteur de ce projet a pu apprécier ce sens de l'équilibre, de l'unité organique des corps et de la régulation de l'Etat qui est propre à certaines filières de la pensée chinoise, très différent de la normativité de nos lois, divines et humaines. Chez certains peuples africains, la loi est presque exclusivement un interdit et rarement une recommandation. Que peuvent nous dire ces régulations harmoniques de l'organicité chinoises au sujet de ce que nous appelons les structures de cohérence, toujours changeantes, toujours reconstruites d'un organisme en biologie ? Et notre notion de "enablement" (rendre possible), qui permet sans être normative (Longo, Montévil), comment se situe-t-elle face à l'interdit de ce qui est incompatible avec l'écosystème, proposé par la sélection darwinienne ?

Il ne s'agit sûrement pas de remplacer une vision par une autre venant d'une autre culture, mais de relativiser un savoir, reconstruire des histoires qui mènent trop souvent à un absolu, en retrouver le sens pour aller de l'avant. La culture chinoise ne paraît pas concevoir un espace vide pre-donné, l'a

priori mathématique au cœur du parcours de la physique qui va de Galilée et Descartes jusqu'à Newton et, en fait, atteint aussi les (dimensions des) variétés riemanniennes utilisées par Einstein. Qu'est-ce que cela peut nous dire pour notre vision d'une imprédictibilité de l'espace même des phases biologiques (des phénotypes) ? En effet, ces regards sur la loi que l'on retrouve en Chine et en Afrique, dérivent ou proposent une approche aux autres et à l'espace, voire à l'écosystème, fort différent du nôtre. Que peut enseigner au juriste, à l'anthropologue le transfert très particulier qui s'est fait entre loi des dieux, des hommes et de la nature et son espace, dans la construction de nos sciences et *son inverse*, très à la mode à l'époque de la quantification en science humaines ?

La réflexion croisée entre disciplines et cultures différentes est au cœur de ce projet. Il devrait se situer en parallèle du travail en cours de l'équipe CIM de GL à l'Ens de Paris en biologie théorique et viser une analyse comparative des différents "contextes de sens", historiques, juridiques, anthropologiques ... concernant la construction de la notion de loi en sciences humaines et de la nature, avec un égard particulier au savoirs physiques et biologiques. Seulement un institut de recherche aussi "pluri-", dans tous les sens possibles du terme, que l'IEA de Nantes peut permettre de telles analyses.

On envisage proposer deux colloques par an en moyenne, sur trois ans, de différentes dimensions (un workshop interne et un colloque publique) et des rencontres restreintes de GL et un ou deux membres de son équipe avec les résidents intéressés, à Nantes, dont la fréquence sera à décider selon les intérêts et la disponibilité de ces derniers. Le financement d'une bourse de post-doc annuelle, pour chaque année, pourrait éventuellement contribuer grandement à ce projet.

Les résultats paraîtront dans un ouvrage collectif, plus des éventuels articles indépendants ; l'ouvrage pourra être en français, en anglais ou bilingue : dans les trois cas, il sera possible d'intéresser des éditeurs d'excellent niveau et diffusion, français, anglais ou allemands (voir les activités d'édition dans la page web de GL).

## Références essentielles

Arasse, D. **L'Annonciation italienne. Une histoire de perspective**, Hazan, 1999

Buiatti M., Longo G. "Randomness and Multi-level Interactions in Biology". In **Theory in Biosciences**, vol. 132, n. 3:139-158, 2013.

Longo, G. "Mathematical Infinity "in prospettiva" and the Spaces of Possibilities". In **"Visible"**, a Semiotics Journal, n. 9, 2011

Longo G., Montévil M., **Perspectives on Organisms: Biological Time, Symmetries and Singularities**, Springer, Berlin, 2014.

Longo, S. "La "perspective" de l'Annonciation", **Studiolo X**, 2010 (paru en 2013).

Needham, J., 'Human Laws and the Laws of Nature in China and the West', **Journal of the History of Ideas**, vol. XII, 3-32, 194-231, 1951

Panovsky, E., **Perspective as Symbolic Form**. New York: Zone Books, 1991

Roux, S., "Controversies on Legality (1680-1710)", in **Natural Law and Laws of Nature in Early Modern Europe**, éd. L. Daston et M. Stolte, Aldershot, Ashgate Pub., p. 199-214, 2009.

Supiot, A., **Homo juridicus**, Seuil, Paris, 2005

Zellini, P., **A Brief History of Infinity**, New York: Penguin Book, 2005 (trad., Adelphi, Milano, 1980).