

Quelques spécifications théorique de l'état vivant de la matière

Giuseppe Longo

CNRS, Dépt. Informatique – ENS,
et CREA, Polytechnique, Paris
<http://www.di.ens.fr/users/longo>

Nous résumons ici, de façon très schématique et informelle, trois propositions plus ou moins mathématisées qui pourraient aider à saisir, sans aucune prétention de complétude descriptive, certains aspects du vivant. Le cadre conceptuel pour ces idées se trouve, en partie, dans [Bailly, Longo, 2006], mais les détails techniques sont développés dans les articles cités ci-dessous. Notre but, très (trop) ambitieux, est bien de saisir de façon prétendument scientifique, l'unité de l'organisme vivant, en l'exprimant dans les termes de sa "singularité physique".

1. La **situation critique étendue** par laquelle nous caractérisons l'état du vivant et les processus qui en sont le siège, [Bailly, Longo, 2008c], ne se trouve pas dans les théories physiques, car, pour ces dernières, les transitions critiques y sont en général définies par des valeurs précises des paramètres de contrôle : elles y sont représentables par un point pour chaque paramètre pertinent. Dans notre cas, la situation critique que nous considérons demeure aussi longtemps que le vivant en question (un organisme, par exemple) perdure ; elle serait représentable par un volume non nul dans l'espace des paramètres température, pression... ou toute variable d'état pertinent) en ce sens qu'aucun paramètre ne se réduit à un point, ce qui, intuitivement correspond aux capacités d'adaptabilité et à la plasticité du vivant. Intuitivement toujours, elle correspond aussi au fait que tout robuste qu'il puisse être relativement à des modifications des paramètres (dans les limites donc d'un intervalle plus ou moins grand), le vivant est toujours dans une situation critique (pris au sens de fragilité, cette fois) relativement à sa propre survie. Les propriétés de la criticité dont nous faisons état pour le vivant bénéficient, sans s'y réduire, de certaines propriétés de la criticité physique et notamment de la tendance à la divergence des longueurs de corrélation, ce qui nous permet d'envisager un organisme comme un tout, le local étant fortement corrélé au global.
2. La **temporalité compacité** que nous avons introduit dans [Bailly, Longo, 2008t] pour rendre compte, à côté du temps physique usuel, des rythmes internes (respirations, battements cardiaques...) propres au vivant et indépendants des rythmes externes (circadiens, annuels) d'origine purement physique, introduit une deuxième

dimension temporelle pour une théorisation propre du temps biologique. Cette nouvelle dimension est compacifiée, dans le sens qu'elle est mathématiquement décrite par un cercle (on a été inspiré par des méthodes de compacification de nouvelles dimensions *spatiales* en physique relativiste). Elle renvoie en réalité à des nombres purs, sans dimension, correspondant à des *itérations* (le nombre de battements cardiaques ou de respirations dans une vie) bien plus qu'à des périodes proprement dites, même si la plupart du temps, les mesures portent sur des fréquences physiques, dont on sait qu'elles dépendent de la masse des organismes considérés. Ce sont ces itérations, dont le nombre est le même pour des catégories entières d'organismes, souvent plus vastes que les espèces (voir les références dans [Bailly, Longo, 2008t]), qui suggère cette seconde dimension temporelle circulaire, à l'image métaphorique d'une horloge analogique pour la mesure du temps physique. Bien entendu, cette dimension itérative compacifiée n'existe que dans l'extension de la zone critique ; elle disparaît dans l'inerte. Observons enfin que les lois de scaling, des nombres purs aussi, dans le vivant peuvent se comparer aux exposants critiques de la physique de la criticité, comme certains auteurs l'ont déjà envisagé.

3. L'**anti-entropie**, qui nous permettrait de définir la "complexité d'organisation" comme proportionnelle à l'opposé de l'entropie, est une quantité qui a la même dimension physique que l'entropie, mais de signe opposé. Plus précisément, elle correspond ou quantifie la production ou reconstruction permanente d'organisation. Dans [Bailly, Longo, 2008e] nous la considérons dans l'aspect "thermodynamique" des bilans métaboliques, mais elle n'est pas à confondre avec la baisse d'entropie qui survient dans un passage physique entre désordre et ordre dans l'inerte. De la même façon qu'on ne confond pas la baisse d'énergie de la matière (dans une évolution vers l'équilibre, par exemple) avec l'énergie négative qui caractérise *l'antimatière* – rappelons que cette dernière est une des solutions "naturelles" de l'équation de Dirac. En effet, on peut considérer en quelque sorte que, *mutatis mutandis*, l'anti-entropie est à l'entropie ce que l'antimatière est à la matière en physique quantique : de même dimension que l'entropie mais de signe opposé, mesure d'organisation intrinsèque relativement à la tendance au désordre ; "signature" du vivant par rapport à l'inerte. En cela, cette anti-entropie, comme la temporalité compacifiée n'existe que dans l'extension de la zone critique étendue ; elle s'annule identiquement à l'extérieur de cette zone (dans l'inerte). L'anti-entropie est censée pouvoir représenter la mise en place et le maintien de l'organisation propre au vivant ; il en va de même pour la complexité qui ne doit être confondue ni avec la complexité algorithmique, ni avec la complexité physique usuelle en ce qu'elle met en jeu notamment la constitution de niveaux d'organisation et des relations fonctionnelles d'intégration et de régulation physiologiques entre eux.

Il en résulte que les quantités thermodynamiques que nous considérons, notamment dans le bilan métabolique, représentent des extensions des quantités physiques usuelles ; en particulier l'énergie libre de Gibbs que nous introduisons inclut l'extension entropique de l'anti-entropie que nous venons de discuter et ne se réduit à l'énergie libre physique que pour l'inerte.

Deux premières applications de cette approche sont proposées dans [Bailly, Longo, 2008e] : en analysant la diffusion de la complexité comme anti-entropie sur la biomasse, on a pu reconstruire la courbe de cette distribution proposée par les données paléontologiques de Gould par une fonction de diffusion, inspirée par l'approche opératoire de Schrödinger en mécanique quantique. Une évaluation quantitative est aussi esquissée en référence aux processus de différenciation chez la *Caenorhabditis elegans*.

D'une façon très générale, les lois que nous utilisons en traitant ces quantités particulières que nous introduisons spécifiquement pour le vivant constituent une simple *extension* des lois physiques usuelles : elles conservent la même structure mathématique formelle et, si on met à 0 la valeur des observables ou paramètres que nous considérons (extension de l'intervalle critique, deuxième dimension temporelle, valeur de l'anti-entropie), elles nous redonnent les théories de l'inerte. Nos propositions théoriques sont donc compatibles, quoique irréductibles aux "théories physiques existantes". C'est-à-dire, elles se réduisent à ces lois *seulement si*, mais *dès lors que* l'on se situe hors de la zone critique étendue, avec sa propre temporalité et son anti-entropie (production ou reconstruction permanente d'organisation), voire dès que ces quantités spécifiques disparaissent.

Articles téléchargeables de <http://www.di.ens.fr/users/longo>

Bailly F., Longo G., **Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant**, Hermann, Paris, 2006.

Bailly F., Longo G. "Extended Critical Situations", in **J. of Biological Systems**, Vol. 16, No. 2, 1-28 2008c.

Bailly F., Longo G., "Geometric schemes for biological time". Invited lecture, Conference on **Episodic memory and time in neurophysiology**, Strasbourg, October, 2007. (version française dans **Logique du vivant** (J. Boniface, P.A. Miquel, eds), n. 13 Noesis-Vrin à paraître, 2008t.

Bailly F., Longo G., "Biological Organization and Anti-Entropy". Second part of the concluding lecture at the Conference "**From Type Theory to Morphological Complexity: A Colloquium in Honor of Giuseppe Longo**" to appear, 2008e.