

Anticipation, protension et inertie biologique¹

Giuseppe Longo, Nicole Perret

Cirphles et Archives Husserl, CNRS et École Normale Supérieure, Paris

Introduction

Le questionnement contemporain autour de la structure de l'orientation temporelle de la conscience insiste tout particulièrement sur la place occupée par l'anticipation et par la mémoire. Le rôle joué par ces deux éléments temporels a été largement exploré par une longue tradition philosophique et, notamment, phénoménologique (voir par exemple [Petitot et al. 1999 ; Depraz 2001] pour des approches et des synthèses récentes). Husserl a qualifié de protension la particulière orientation d'extension du présent vers le futur par une anticipation consciente. Il a, de plus, proposé d'en comprendre l'organisation comme fortement liée avec la direction extensive qui va vers le passé par la mémoire et qui est appelée rétention [Husserl 1991]. Directement inspirés par les réflexions phénoménologiques, les travaux récents de formalisation de l'orientation temporelle caractéristique de la conscience sont de plus en plus précis (voir par exemple [Gallagher Varela 2003 ; Vogeley Kipke 2007]).

Ici, par une abstraction théorique ultérieure, la protension et la rétention vont être proposées comme les points de départ pour une réflexion au niveau de la structure temporelle propre au biologique pré-conscient. Par un mouvement d'articulation conceptuelle entre physique et biologie, ces deux éléments vont se situer à un niveau d'observables spécifiques, pouvant ainsi être transposés comme des principes autour desquels il est possible d'esquisser une géométrie de la structure temporelle propre au vivant [Bailly et al. 2011]. Cette construction s'encadre dans une démarche théorique plus ample, visant à proposer des principes propres pour une organisation conceptuelle du biologique. Cette démarche a abouti dans la proposition du cadre théorique de la criticité étendue [Bailly Longo 2006 ; Longo Montévil 2011a].

1 Philosophie et géométrie du temps biologique

1.1 Espace et temps constitutifs

Si on se tourne vers les considérations de la philosophie critique de Kant [2001], interpellé une conceptualisation sur le temps ne signifie pas donner une description de certaines

¹ A paraître dans "Anticipation : biologie, physiologie" (C. Debru ed.), Hermann, 2013.

propriétés réelles et présentes à l'intérieur des objets, pas même une mesure de quantités. Bien au contraire, si on accorde de le saisir comme une forme *a priori* telle une condition de possibilité de la connaissance, alors s'interroger sur le temps, et sur l'espace, signifie s'interroger sur la constitution même des principes transcendants d'une science. Cela puisque, d'après le Kant de la *Critique*, les phénomènes se donnent uniquement à l'intérieur des formes *a priori* de l'espace et du temps, et les mathématiques, en raison de leur caractère *synthétique et a priori*, participent de l'organisation de ces données. Cela revient, donc, au rôle constitutif des mathématiques dans la construction des concepts scientifiques [Cassirer 1977]. L'espace et le temps sont alors les conditions de possibilités de cette activité de constitution d'objectivité opérée par les mathématiques [Kant 2001].

Or, si on accepte d'élargir et de relativiser la théorie kantienne des formes *a priori* par une abstraction ultérieure des principes transcendants², le dualisme kantien entre, d'une part, les formes pures de l'intuition *a priori* de l'espace et du temps et, de l'autre, les concepts, est surmonté. Ainsi, espace et temps deviennent des opérateurs participant de l'activité organisatrice et constitutive des mathématiques et non seulement des cadres fixes rendant possible cette activité. Autrement dit, espace et temps deviennent des véritables *concepts d'ordre* activement impliqués dans l'organisation conceptuelle d'une science. S'interroger sur le temps propre à une science signifie alors se mettre en marche vers une constitution des principes d'ordres spécifiques pour une organisation conceptuelle de son cadre théorique.

Le projet donc de rendre intelligible mathématiquement la complexité géométrique de la temporalité biologique correspond à la construction d'une géométrie propre au vivant qui se caractérise, dans le sens kantien élargi, d'un ensemble de principes d'ordres. Or, l'objet biologique, en tant que *singularité physique* [Bailly Longo 2006] présente des caractéristiques temporelles spécifiques. Une bonne théorie du vivant doit partir de ses spécificités, pour construire une organisation conceptuelle qui soit adaptée au biologique. La réduction physicaliste du vivant est une opération théorique illégitime, fondée sur un préjugé réaliste

² Le processus de relativisation des *a priori* kantien vient de l'interprétation néo-kantienne de l'École de Marbourg et notamment de Cassirer. Avec les géométries non-euclidiennes, les formes de l'intuition *a priori* de l'espace et du temps (que, pour Kant, avaient la forme de la géométrie euclidienne) ne pouvaient plus constituer un fondement de repérage scientifique. De plus, suite à la formulation de la théorie de la relativité (aussi bien restreinte que générale, les deux se fondent sur des espaces non-euclidiens), le concept même d'objet, et son lien à l'espace, n'était plus immédiat dans l'intuition. Plus précisément, en mécanique classique, la dépendance de la notion d'objet à un complexe de lois universelles se fondait sur les lois de la géométrie. En revanche, dans la théorie de la relativité, le repérage d'un objet passe par les opérations qui permettent une transition à partir d'un système de référence à un autre. C'est les invariants de ces transformations qui peuvent se dire des objets. On renvoie ici aux œuvres [Cassirer 1977, Cassirer 2001]; pour une panoramique des possibles modulation des *a priori* on renvoie à [Kauark-Leite 2012].

selon lequel les lois physiques représentent des propriétés réelles des phénomènes. Par ailleurs, les théories physiques sont aussi des organisations conceptuelles construites à partir de principes transcendants [Bitbol 1998 ; 2000]. Et, qui plus est, elles proposent différentes notions de *champ causal* qui ne sont même pas réductibles entre eux. Alors, vers lequel de ces champs faudrait-il réduire le vivant? Il paraît plus pertinent de construire un nouveau champ causal pour le biologique, qui se fonde sur ses principes propres, pareils que les champs causaux physiques à l'intérieur de leurs propres cadres théoriques, tout en mieux posant dans la suite un éventuel projet d'unification, comme il se pose aussi en physique (relativiste/quantique, par exemple : qu'est-ce qu'on aurait à unifier si on a pas deux théories?). Or, pour le biologique il se révèle que ce champ causal peut se construire autour d'une géométrie du temps.

La façon dont la temporalité se manifeste chez le vivant, par le développement, le vieillissement, les rythmes biologiques, l'évolution, les cycles métaboliques, témoigne de sa spécificité par rapport à la temporalité physique [Chaline 1999]. A ce niveau vont jouer un rôle constitutif la protension et la rétention. Les comportements protensifs minimaux sont pris comme des observables, mathématiquement quantifiables, sans que cela implique la nécessité de faire une théorie physique de la téléonomie. Au contraire, la dynamique téléonomique devient ici un principe simple, fondé sur l'intuition d'un mouvement de rétention/protension qui est un observable.

Le geste protensif représente, en effet, une spécificité temporelle que l'on observe chez les plus simples formes vivantes (par exemple, les paramécies, [Mislin 2003]). C'est à partir des rythmes internes du vivant, dont on parlera, et de ce geste qu'on peut établir une autonomie du temps du vivant par rapport à la physique. Cela manifeste une autonomie des principes transcendants de la biologie. Il sera donc tout à fait légitime d'ajouter des observables propres ainsi qu'une dimension temporelle spécifique aux rythmes ; on construira alors une géométrie du temps biologique sur deux dimensions. Une pour y représenter les rythmes propres au vivant, l'autre pour y quantifier le temps irréversible de la physique et le nouvel observable, relatif à l'irréversibilité propre des processus biologiques.

1.2 Repérage dichotomique externe/interne

Le rôle transcendantal de la construction géométrique du temps biologique se manifeste encore plus radicalement dans la façon dont s'articulent les deux pôles de repérages,

interne/externe, de l'objet biologique. En effet, en raison de la relativisation des *a priori* kantien, il est légitime de considérer que les notions abstraites d'espace et de temps peuvent renvoyer aux structures mathématiques respectivement de groupe et de semi-groupe. En particulier, les déterminations de groupe de déplacements (réversibles) sont appelées à la formalisation de la notion abstraite d'espace tout comme les caractéristiques du semi-groupe participent de la formalisation de la notion abstraite de temps et notamment de la propriété de compositionnalité et d'irréversibilité de l'écoulement temporel, [Bailly Longo 2006, p. 169]. Or, par une extension de cette correspondance à la logique³, on voit se dessiner une structure dichotomique de constitution qui franchit encore un pas vers l'abstraction. Il s'agit, d'un côté, du pôle *espace, structure de groupe, relation d'équivalence* et, de l'autre côté, du pôle *temps, structure de semi-groupe, relation d'ordre*.

Dans notre approche, on a d'une part l'espace physique, où les déplacements (réversibles) sont possibles, et *au sein duquel* on peut décrire les espaces interne/externe pour chaque organisme, de l'autre un temps physique irréversible auquel *on ajoute* une dimension propre au temps interne des organismes, le temps des rythmes biologiques. On motivera cette extension dimensionnelle, par la relative autonomie des rythmes biologiques par rapport au temps physique. Ils se présentent en fait comme des “nombres pures”, des invariants communs à différentes espèces biologiques.

Bref, au temps physique irréversible (la droite thermodynamique ou, algébriquement, un semi-groupe), on ajoute une dimension orthogonale représentée par une droite compacifiée (un cercle donc; une méthode déjà exploitée en physique, pour l'espace toutefois, voir [Bailly Longo 2006]). Elle s'y entrelace tel un observable à caractère itératif et circulaire, celui des rythmes biologiques dont on parlera.

Or, ces deux dimensions s'articulent entre elles par une dichotomie du genre interne/externe qui participe, de façon constitutive, d'une nouvelle organisation conceptuelle de la biologie. Cela revient aussi à la constitution d'un champ causal spécifique pour le vivant, car on corrèlera la protension à l'instauration de ces rythmes internes, ce qui nous permettra de conceptualiser une forme de téléonomie, sans pour autant renvoyer à une causalité rétrograde. Pour revenir aux considérations kantien, l'espace et le temps de la *Critique* [2001] s'opposaient et s'articulaient précisément et respectivement, du côté du sujet, comme la forme *a priori* du sens externe et la forme *a priori* du sens interne.

³ La notion de groupe peut être mise en correspondance avec la relation logique d'équivalence, ainsi que la notion de semi-groupe a la même forme de la relation d'ordre. (Bailly Longo 2006, p. 163)

Rappelons ici la progressive redécouverte des arguments leibniziens par le dernier Kant de l'Opus Postumum [1986], selon lesquels l'espace et le temps ne peuvent plus s'opposer de telle manière, mais eux mêmes possèdent des formes intrinsèques du côté de l'objet. On est alors amené à redécouvrir une légitimité, de moins théorique, de cette articulation dans la structuration d'une dimension interne temporelle pour le vivant. Cela dans la mesure où les deux pôles interne/externe doivent être trouvés au sein même de l'objet. Précisons : il ne s'agit pas, pour cela, de propriétés intrinsèques aux objets, car on est toujours à un niveau épistémique de constitution d'objectivité. Il s'agit, en particulier, de formes de constitution du repérage des objets venant de la détermination même de ceux-ci. Autrement dit, l'espace et le temps deviennent des conditions actives de la constitution de l'intelligibilité de l'objet : des sortes de *formes de la manifestation sensible* [Bailly Longo 2006, p. 153]. Le sens externe détermine, alors, la forme de la manifestation des relations, et le sens interne régit la forme de la manifestation de l'identification des objets. Par ce processus, et conjointement avec la relativisation des *a priori*, une transformation des notions abstraites d'espace et de temps est opérée. Cette transformation, en conclusion, revient à justifier le rôle épistémique des dimensions spatio-temporelle interne propre à la biologie régissant les conditions mêmes de possibilité de repérage de l'objet.

Nous reconstruirons donc cette démarche par deux mouvements : d'abord, la constitution d'un observable propre, le temps de l'irréversibilité biologique, dans la dimension du temps physique (thermodynamique, donc orienté), encré sur un présent étendu (rétention/protension) ; ensuite, en ajoutant une deuxième dimension compacifiée à cette dimension temporelle partagée avec la physique, pour y décrire les rythmes biologiques. Ce schème géométrique construit une intelligibilité nouvelle se servant de la propriété constitutive interne de la notion abstraite de temps.

2. Rétention et protension

Husserl entreprend une analyse fondamentale de la temporalité propre à la conscience, séparée du temps objectif, s'appuyant sur deux directions temporelles opposées : la mémoire et l'anticipation. La mémoire est caractérisée comme une reconstruction d'un passé distant et l'anticipation comme l'attente d'un futur possible. Or, ces deux pôles appartiennent respectivement au passé et au futur, mais une tendance vers ces deux directions d'un même axe se met en place dans *l'appréhension présente* des phénomènes.

Nous parlerons très en général des mouvements de la rétention et de la protension, en absence même d'intentionnalité (aussi donc pour des activités préconscientes). La rétention et la protension sont des formes du présent : l'instant présent se constitue donc comme une situation dialectique jamais simple et définie, une situation *qui ne se décrit pas comme ponctuelle*.

Plus précisément, si en physique on peut concevoir un présent ponctuel, un instant singulier qui est un nombre sur la droite de nombres réels de Cantor, la singularité temporelle de l'instant biologique est *étendue*: transition étendue du passé au futur, union de la rétention minimale et de la protension qui lui correspond. Ce changement est fondamental et paradigmatique par rapport à la physique. Par l'invention de la vitesse et de l'accélération, comme valeur instantanées, limites d'une sécante qui devient une tangente (Newton) ou d'un rapport dont le numérateur et le dénominateur tendent à 0 (Leibniz), les mathématiques s'installent dans la physique moderne : par leur valeur ponctuelle, la vitesse et l'accélération deviennent elles aussi des fonctions du temps.

Or, en biologie, dans ce cas et ailleurs, la ponctualité d'un processus a peu de sens : la photo instantanée perd ce qui compte le plus, l'action du vivant, qui *n'est pas sans être en activité*. La photo d'une pierre qui tombe est identique à celle d'une pierre immobile, qui est *inerte* même lors de son mouvement *inertiel*. Le vivant *est* seulement dans ses processus, qui se rénovent et changent en permanence. Le temps biologique n'est donc pas à saisir en partant d'une ponctualité possible ; il en sera autant, pour nous, par rapport à *tous* les paramètres et les observables biologiquement pertinents. En fait, le vivant n'est pas seulement un processus, une dynamique, il est toujours (dans) une "transition critique". Nous avons rendu cette analyse de l'"extension" des observables et paramètres biologiques, par la notion de "criticité étendue", propre à l'état vivant de la matière, [Bailly Longo 2011 ; Longo Montévil 2011a].

Dans le temps, les gestes de la rétention, dirigée vers le passé immédiat, et de la protension, vers le futur imminent, composent donc une extension du présent qui se différencie, tout en s'articulant, avec le temps objectif de la physique. Nous renvoyons à [Longo Montévil 2011b] pour l'analyse mathématique : la rétention est décrite par une fonction de relaxation (une exponentielle décroissante dans le temps physique), la protension par son symétrique, corrigé par une dépendance linéaire de la rétention. La composition de ces exponentiels symétriques formalise le fait qu'il n'y a pas d'attente sans mémoire, nous dit Husserl et nous confirment les évidences empiriques récentes [Botzung et al. 2008] (pour d'autres travaux sur les

activités conscientes, voir [Perfetti 1976 ; Nicolas 2006]). La protension dépend donc mathématiquement de la rétention, une asymétrie qui oriente le temps biologique. Bref, dans notre construction d'une géométrie du temps du vivant pré-conscient, tout se passe comme si l'organisme, si élémentaire soit-il, était capable de protension si rudimentaire puisse-t-elle être, relativement à une situation interne ou environnementale future pour gouverner sa dynamique comportementale dans son présent, et cela sur la base d'un vécu. Or, même une paramécie manifeste des formes claires de protension et rétention, voir [Mislin 2003].

En conclusion, par cette objectivisation propre du temps biologique, tout en partant de Husserl, nous avons ajouté une notion temporelle spécifique pour la biologie, basée sur le jeu rétention/protension. Celui-ci, quoique dans la même dimension mathématique que la flèche du temps physique, orientée par tous les phénomènes irréversibles (au moins thermodynamiques), nous propose un nouvel observable : l'irréversibilité propre du temps biologique, orienté par l'asymétrie mathématique rétention/protension, [Longo Montévil, 2011b].

Notez que dans une même dimension physique on peut avoir plusieurs observables : l'énergie, par exemple, peut être potentielle ou cinétique. Pour nous, l'irréversibilité propre du temps biologique s'ajoute donc à celle du temps thermodynamiques. Elle n'est pas seulement due à la dispersion d'énergie (l'entropie) mais aussi à la mise en place et au maintien de l'organisation (que nous avons caractérisée comme anti-entropie, voir [Bailly Longo 2009 ; Longo Montévil 2012]). L'évolution et l'embryogenèse (l'ontogenèse, en fait) ont leur propre irréversibilité constitutive, qui s'ajoute à celle des processus thermodynamiques. Cette irréversibilité est l'observable du temps propre au vivant ; dans [Bailly Longo 2009], il est, mathématiquement, considéré comme un *opérateur*, non pas un paramètre comme le temps en physique, car il opère et il constitue le vivant, *qui est toujours le résultat d'une histoire*.

3. Inertie biologique

La capacité protensive minimale du vivant peut être fondée sur l'observation de la propension de tout organisme à prolonger simplement une situation. Cette capacité peut être plus ou moins accentuée selon le niveau d'évolution et la présence ou non d'un système nerveux. C'est d'abord l'observation de l'aptitude à s'adapter à une situation, en changeant et en "se conservant", qui nous fait introduire une fonction de rétention, une composante de l'identité et de la "stabilité structurelle". Celle-ci peut être conçue comme la possibilité de déposer une

mémoire morphologique à différents niveaux, par exemple biochimique, immunitaire, neurale, cérébrale ; toutefois, son rôle biologique principal est exactement de permettre la protension. Autrement dit, nous considérons la possibilité pour un organisme de conserver une mémoire d'une situation comparable antérieure, par un effet d'apprentissage, même à un niveau très simple d'organisation, comme précondition d'une *adaptivité par l'attente* d'une situation similaire. Le génome pourrait être considéré comme la composante principale de rétention propre à une espèce. En cela, il jouerait autant un rôle de contrainte par rapport à l'immense éventail des possibles qu'un rôle d'activateur par rapport au développement de tel ou tel organisme appartenant à une espèce donnée. Cette contrainte "canaliserait" en quelque sorte les possibilités du développement en fonction du patrimoine rétif, c'est-à-dire en l'occurrence à toute l'histoire biochimique de l'espèce. Les éventuelles "explosions" associées à la rupture d'équilibres ponctuels (cf. la faune de Burgess telle qu'elle est analysée par S.J. Gould [1998], par exemple) correspondraient alors à la levée de classes entières d'inhibition par rapport au rôle activateur des génomes. Cette représentation correspondrait alors elle-même au point de vue selon lequel le vivant, loin de sélectionner des trajectoires géodésiques singulières et spécifiques comme en physique, évoluerait dans un cadre très générique de possibles dont certains seraient inhibés par des contraintes internes (du génomes à la structure de l'organisme) ou externes (environnement).

Au niveau d'un organisme, on peut interpréter le comportement protensif comme une anticipation jouée sur l'activation de la mémoire, la trace d'un vécu qui joue aussi un rôle de contrainte. De telle sorte que certaines réactions conséquentes deviennent plausibles et engendrent alors un comportement qui tiendrait compte de cette plausibilité, même s'il se révèle ensuite non adapté, conduisant alors à un nouvel apprentissage. L'anticipation de ce type devient un instrument pour interpréter le comportement de l'organisme face à l'aléatoire, l'imprédictible auquel doit continuellement faire face ; voire une sorte d'instrument de réorganisation continue face à l'impossibilité d'explicitier tout le champ des possibles. Ainsi, comme le distinguait clairement Husserl, la rétention n'est justement pas la mémoire en soi, mais le processus d'activation de cette mémoire dans l'instant présent – dans le but de l'action, soulignons-nous. Pareillement, le geste protensif n'est pas l'anticipation dans le futur, mais le processus de projection des possibilités immédiates d'un état préalablement vécu, en fait reconstruit.

Par ces mouvements d'extension dynamique du présent on a une sorte de principe inertiel du

vivant, ce que l'on pourrait appeler une *inertie biologique*. Dans [Longo Montévil 2011], cette inertie est représentée mathématiquement comme le coefficient de la protension : il en donne le "poids" mathématique, pour ainsi dire, tout comme la masse (inertielle), en physique, est le coefficient de l'accélération en présence d'une force.

4. Rythmes biologiques, un schème géométrique pour le vivant

Par le même processus d'objectivation mathématique, on va établir une nouvelle dimension du temps fondée sur la considération des rythmes internes au vivant, qui va s'ajouter à celle du temps thermodynamique dans laquelle réside aussi la rétention/protension. Cette deuxième dimension du temps est compacifiée (un cercle, une boucle, au lieu de la droite habituelle du plan cartésien), qui s'autonomise de façon plus radicale par rapport au temps de la physique, tout en s'y articulant. Bref, dès qu'il y a du vivant, il y a un rythme qui s'installe : le rythme métabolique, au moins, et puis, les rythmes cardiaques, respiratoires, hormonaux.... L'observation nous les propose comme des nombres purs : ils nous donnent un temps (de vie, typiquement) d'un organisme, par des coefficients allométriques, mais ils n'ont pas la dimension d'*un temps*. Par exemple, les nombres des battements cardiaques des mammifères est un invariant a-dimensionnel, un nombre (environ 1.2×10^9), qui, par un coefficient donné par la masse, donne la durée de vie de l'organisme en question. C'est ainsi qu'une souris et un éléphant ont des durées de vie qui diffèrent d'un facteur 50, mais le même nombre de battements cardiaques, qui ont donc une fréquence 50 fois plus grandes chez la souris. Nous renvoyons à [Bailly et al. 2011] pour les détails techniques.

Cette deuxième temporalité contribue à établir et justifie un champ causal spécifique pour le vivant. Peut-être est-ce cet aspect qui est à interprété à certains égards comme *causalité rétrograde*, mais qui n'est pas une inversion temporelle. Il s'agit plutôt d'un mouvement circulaire qui se met en place et qui est aussi au coeur de la dynamique de rétention/protension minimale.

D'un point de vue mathématique, l'introduction d'une dimension de temps compacifiée donne, comme topologie du temps biologique, $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$ (une droite fois un cercle). Bien évidemment, le "rayon" de compacification demeure nul dans les analyses de l'inerte. Cette structure du temps brise certains aspects causaux classiques, disions nous : par la protension, il peut y avoir un changement au présent suite à une *attente* du futur. Toutefois, la seconde dimension

compacifiée est exclusivement relative aux rythmes biologiques et aux flux de cette composante très spéciale "d'information" liée à la protension.

Dans nos analyses, on distingue deux types de rythmes biologiques :

- Les rythmes "externes", pilotés par des phénomènes extérieurs à l'organisme, d'origine physique ou physico-chimique et qui s'imposent à l'organisme. Ces rythmes sont donc les mêmes pour de nombreuses espèces, indépendamment de leur taille. Ils s'expriment en termes de périodes ou de fréquences physiques, donc dimensionnelles (s, Hz) et les invariants sont dimensionnels ; on les décrit par rapport à la dimension du temps physique (en exp(it)). Exemples : les rythmes saisonniers, le rythme circadien et tous leurs harmoniques et sous-harmoniques, les rythmes de réactions chimiques oscillantes à la température donnée, etc.
- Les rythmes "internes", d'origine endogène, propres à des fonctions physiologiques de l'organisme, dépendant donc de spécifications fonctionnelles purement biologiques. Ces rythmes sont caractérisés par des périodes qui scalent comme la puissance $\frac{1}{4}$ de la masse de l'organisme et, rapportés à la durée de vie de l'organisme, qui, elle, scale de la même façon ; ils s'expriment donc par des nombres purs. Pour cette raison, ces invariants sont *numériques*, en contraste avec les grandes constantes de la physiques qui ont des *dimensions* – accélération, vitesse, action.... Dans notre description par une nouvelle dimension "temporelle" compacifiée, les valeurs numériques correspondent alors à un "nombre de tours" indépendamment de l'extension temporelle physique effective (exemples : battements de cœur, respirations, fréquences cérébrales, etc., voir la représentation graphique dans [Bailly et al., 2011]).

En résumé, les cycles biologiques endogènes, qui ne dépendent pas directement de rythmes physiques externes qui s'imposent, sont ceux qui présentent les caractéristiques suivantes :

- sont déterminés moins par des grandeurs dimensionnelles comme en physique (secondes, Hertz,...) que par des nombres purs (nombre de respirations ou de battements de cœur au cours d'une vie).
- scalent avec la taille de l'organisme (fréquences en puissance $-1/4$ de la masse, périodes en puissance $\frac{1}{4}$), ce qui n'est en général pas le cas des rythmes externes contraignants qui s'imposent à tous (circadien, par exemple).
- peuvent en cela se rapporter à une dimension "temporelle" supplémentaire compacifiée (un angle, en fait), par contraste avec la dimension temporelle usuelle

(physique, thermodynamique, plus précisément), non compacte et pourvue de dimensionnalité.

Dans ce cadre, la situation critique étendue, correspondant au caractère auto-référentiel et individualisé de l'organisme, présente donc une temporalité topologique de type $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$, alors que l'externalité de l'organisme (et la façon dont cette externalité réagit avec l'organisme) conserve sa topologie temporelle usuelle \mathbf{R} .

Sans changer au fond de la question, on peut présenter une façon de voir un peu différente : pour un organisme vivant, la situation critique étendue occuperait un volume dans un espace à n dimensions, avec $n \geq 5$. Parmi ces n dimensions on distinguerait les trois dimensions de l'espace physique classique (topologie \mathbf{R}^3) et les deux dimensions de temps biologique (topologie $\mathbf{R} \times \mathbf{S}_1$), dont la dimension compactifiée prend un rayon nul hors de ce volume. Les $n-5$ dimensions restantes correspondent aux valeurs compatibles des paramètres vitaux (températures entre T_1 et T_2 , métabolismes entre R_1 et R_2 , etc.) : tous des intervalles de criticité étendue, dont les limites sont ceux de la viabilité. Les métriques d'espace du volume correspondraient en gros aux longueurs de corrélation ; les métriques du temps correspondraient maximale aux durées de vie (pour \mathbf{R}) et aux nombres purs maximaux (fréquences maximales endogènes) pour \mathbf{S}_1 . On remarquera que les rythmicités et cyclicités endogènes sont moins des rythmes ou des cycles proprement dits que des *itérations* dont le nombre total est fixé (nous renvoyons aux articles cités pour les détails techniques).

Revenons enfin au jeu rétention/protension. On propose de repérer le geste/expérience protensif premier, voire minimal, dans *l'attente du retour d'un rythme vital*. La protension donc se présenterait comme conséquence de cet acte intrinsèque au vivant : dès qu'il y a vie, dès son origine évolutive ou embryonnaire, un rythme s'établit, celui métabolique au moins, et les autres ensuite. Nous décrivons ce processus comme la formation soudaine, sorte de "big-bang", de la nouvelle dimension temporelle qui caractérise le vivant, la dimension des rythmes biologiques. Ils engendrent l'attente de leur propre retour, donc la protension/anticipation première qui justifie, sans téléonomie proprement dite ni causalité physique rétrograde, cette causalité biologique inversée dont un parlait plus haut, celle qui modifie l'action présente par la préparation du geste protensif.

Références (les articles dont Longo est (co-)auteur sont téléchargeable de

<http://www.di.ens.fr/users/longo>)

- Bailly F, Longo G, (2006) *Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant*, Paris, Hermann
- Bailly F, Longo G, (2008) Extended Critical Situations, in **J. of Biological Systems**, Vol. 16, No. 2, pp. 309-336
- Bailly F, Longo G, (2009) Biological Organization and Anti-Entropy. *In J. Biological Systems*, Vol. 17, No. 1, pp. 63-96
- Bailly F, Longo G, Montévil M, (2011) A 2-dimensional Geometry for Biological Time. *In Progress in Biophysics and Molecular Biology*: vol. 106, n. 3, pp. 474 – 484
- Bitbol M, (2000) Le corp matériel et l'objet de la physique quantique *in Que est-ce que la matière? Regards scientifiques et philosophiques*, pp 187-201 LGF
- Bitbol, M., *L'aveuglante proximité du réel*, Flammarion, coll. « Champs », 1998.
- Botzung A, Denkova E, Manning L (2008) Experiencing past and future personal events: Functional neuroimaging evidence on the neural bases of mental time travel. *Brain and Cognition* 66(2):202–212
- Cassirer E, (1977) *Substance et fonction : éléments pour une théorie du concept* , Paris éditions de minuit
- Cassirer E, (2001) Kants Leben und Lehre *in Gesammelte Werke Hamburger Ausgabe*, Band 8 p.261, Meiner
- Chaline J,(1999) *Les horloges du vivant: un nouveau stade de la théorie de l'évolution?* Hachette
- Depraz N, (2001) *La conscience : approches croisées, des classiques aux sciences cognitives*. A. Colin, Paris
- Friedman M, (1999) *Kant and the exact sciences*, Cambridge, Harvard University press
- Gallagher S, Varela F, (2003) Redrawing the map and resetting the time : phenomenology and the cognitive sciences, *in Canadian Journal of Philosophy* 29:93-132
- Gould SJ, *La vie est belle : les surprises de l'évolution*, M. Blanc, éditions du Seuil, 1998
- Husserl E, (1991) *Leçon pour une phénoménologie de la conscience intime du temps*, Presse Universitaire de France, Paris
- Kant E, (1986) *Opus postumum*, Paris, PUF
- Kant I, (2001) *Critique de la raison pure*, tr A. Renaut, Flammarion, Paris
- Kauark-Leite P, (2012) *Théorie quantique et philosophie transcendantale*, Paris, Hermann

- Longo G, Montévil M, (2011a) From Physics to Biology by Extending Criticality and Symmetry Breakings. *Invited paper, special issue of **Progress in Biophysics and Molecular Biology***: 106(2):340 – 347
- Longo G, Montévil M, (2011b) Protention and retention in biological systems. *In **Theory of Biosciences***: Vol. 130, Issue 2, pp. 107-117
- Longo G, Montévil M, (2012) Randomness Increases Order in Biological Evolution. *Invited paper, conference on "Computations, Physics and Beyond"*, Auckland, New Zealand, February 21-24, 2012; **LNCS** vol. 7318 (Dinneen et al. eds), pp. 289 - 308, Springer
- Misslin R, (2003) Une vie de cellule. *Revue de Synthèse* 124(1):205–221
- Nicolas F, (2006) Quelle unité pour l'œuvre musicale? In: *Les mathématiques, les idées et le réel physique*, Vrin
- Perfetti CA, Goldman SR, (1976) Discourse memory and reading comprehension skill. *in **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*** 15(1):33 – 42, DOI 10.1016/S0022-5371(76)90004-9
- Petitot J, Varela F, Pachoud B, Roy JM, (eds) (1999) *Naturalizing Phenomenology: Issues in **Contemporary Phenomenology and Cognitive Science***, Stanford, Stanford University Press
- Vogeley K, Kupke C, (2007) Disturbance of time consciousness from a phenomenological and a neuroscientific perspective, *in **Schizophr Bull***, 33(1): 157-165