

Emergence cohomologique du sens dans les discours (comme systèmes vivants au sens d'Ehresmann et Vanbremeersch)¹

René Guitart

En hommage à
Andrée C. Ehresmann et
Jean-Paul Vanbremeersch

ABSTRACT: As a significant extension of our previous calculus of logical differentials and Moving Logic, we propose here a mathematical diagram for specifying the emergence of novelty, through the construction of some « differentials » related to cohomological computations. Later we intend to examine how to use these « differentials » in the analysis of anticipation or evolution schemes. This proposal is given as a consequence of our comments on the Ehresmann-Vanbremeersch's work on *Memory Evolutive Systems* (MES), from the two points of view which are characterization of life and use of categorical modelling. It would not be possible to conceive the « differentials » outside the frame of a MES (and specifically the description of the part played in a MES by the « co-regulators » and their « landscapes » for anticipation and emergence). Furthermore, we hope that this diagram will be useful to exhibit the « emergence of sense » in discourses, and this idea is supported here by a brief examination of how a discourse could be seen as a living system (and then could be studied as a MES).

KEYWORDS: novelty, emergence, differential, cohomology, category, colimit, living system, discourse, sense.

RESUME : En tant qu'une large extension de notre calcul des différentielles logiques et de la Logique Mobile, nous proposons ici un schéma mathématique pour la spécification de l'émergence et la nouveauté, via la construction de certaines « différentielles » reliées à des calculs de cohomologie. Nous laissons pour le futur l'étude de comment ces différentielles seront utiles pour l'analyse de l'anticipation ou de schémas d'évolution. Cette proposition résulte d'un commentaire du travail d'Ehresmann-Vanbremeersch sur les Systèmes Evolutifs à Mémoires (MES), des deux points de vues qui sont la caractérisation de la vie et l'utilisation de la modélisation catégorique. La conception de ces « différentielles » n'aurait pas été possible à penser en dehors de la notion de MES (et tout spécialement de la description du rôle joué dans un MES par les « co-régulateurs » et leurs « paysages » dans l'anticipation et l'émergence). De plus, nous espérons que ce schéma sera utile pour exposer l' « émergence de sens » dans les discours, et cette idée est soutenue ici par un bref examen de comment un discours peut être vu comme un système vivant (et peut être étudié comme un MES).

MOTS-CLES : Nouveauté, émergence, différentielle, cohomologie, catégorie, colimite, système vivant, discours, sens.

¹ Ce texte (du 15 février 2009) est la version préliminaire en français du texte : « Cohomological emergence of sense in discourses (as living systems following Ehresmann and Vanbremeersch) », à paraître dans la revue *Axiomathes*.

0- INTRODUCTION. Notre but épistémologique ici est un triple examen des systèmes vivants, des catégories et de l'analyse de discours, de sorte à dégager une possibilité technique précise d'analyser les discours comme systèmes vivants, pour pouvoir par là traiter de l'« émergence du sens ».

Dans des travaux précédents nous avons montré que la théorie du sens peut se concevoir en termes de théorie des catégories, que ce soit avec l'outil des régimes d'assimilations [Guitart, 2003] ou celui des logiques spéculaires [Guitart, 1994] et mobiles [Guitart, 2005b]. En [Guitart, 2005a] le sens est rapporté à un calcul de cohomologie, une sorte de variation de la logique et de la vérité de référence, une cohomologie paralogique. Mais le pourquoi et le comment de l'advenue de ce sens restent mis entre parenthèses.

Dans l'esprit amorcé dans la « modélisation catégoricienne » [Guitart, 2008], nous pouvons maintenant rapprocher précisément discours et systèmes vivants, grâce expressément au croisement théorique entre catégories et systèmes vivants complètement déployé dans les travaux d'Andrée Ehresmann et Jean-Paul Vanbremeersch (du premier article [Ehresmann & Vanbremeersch, 1987] jusqu'au site [Ehresmann & Vanbremeersch, 1999] puis au livre [Ehresmann & Vanbremeersch, 2007]). On pourra donc considérer ce travail-ci comme le fruit d'une application de leur démarche, soit *la méthode Ehresmann-Vanbremeersch*² des MES (*Memory Evolutive Systems*), nommée ici par raccourci la *méthode EV*.

Au paragraphe 1 nous soutenons l'idée que la théorie des catégories est un outil naturel pour l'étude des systèmes vivants, et l'idée qu'un discours est un système vivant. Au paragraphe 2 nous suggérons donc que la nature, aussi bien de son côté physique que de son côté biologique, soit écrite en un livre catégorique. Au paragraphe 3 nous insistons sur le fait qu'il n'y a pas d'objets, mais seulement des présentations d'objets, que les objets existent seulement comme processus. Au paragraphe 4 nous entrons dans la question de la paradoxalité de l'idée d'émergence, et au paragraphe 5 nous pouvons alors faire notre proposition de modèle.

Par ce rapprochement discours/vivant, en pensant donc les discours comme producteurs vivants d'eux-mêmes, dans le milieu qui s'appelle « la langue », nous pouvons en conclusion proposer pour l'émergence un mini-modèle, en terme de mesure cohomologique de la différence dA lors d'une « non-identité à soi » d'un agrégat discursif A . Cette cohomologie d'émergence sera la cause formelle du sens, c'est-à-dire de la cohomologie paralogique de constitution du discours achevé. Elle articulera « différence » d et « devenir » via les « passés possibles » p .

1- LES CATEGORIES, LES DISCOURS ET LES VIVANTS. Notre horizon, depuis quelques travaux, est le développement d'une théorie du sens des discours qui prenne en charge l'ambiguïté du fait de dire et l'irremplaçable recours à la métaphore et à la narration, et donc — plus que les contenus sémantiques éventuellement pointés — les gestes d'intervention dans le champ de la langue de quiconque prend la parole. Le sens d'un texte, dans une perspective herméneutique, est ce que nous comprenons du processus vivant de l'invention de nouvelles interprétations, il dépend de l'imagination d'un sujet ([Fœssel, 2007], [Ricoeur, 1986]), et son opération de base est la collecte d'éléments au titre d'une qualité commune à ces éléments, posée en tant que nouveauté ("découpage de sous-ensemble et titrage" dans [Salanskis, 2007, p. 15]). Un modèle de cette opération est l'idée de "cône inductif" dans une

² Nous ne résumerons pas ici cette méthode EV, et renvoyons notre lecteur au livre [Ehresmann-Vanbremeersch 2007], ou bien à [Ehresmann-Vanbremeersch, 2006] suffisant pour apprécier notre commentaire. On lira une version en français de l'introduction de [Ehresmann-Vanbremeersch, 2007] à l'url : <http://people.math.jussieu.fr/~guitart/docpp/evsem07.pdf> . On lira aussi avec profit [Ehresmann-Vanbremeersch, 1992 b].

catégorie (*i.e.* "collective link" dans [Ehresmann & Vanbremeersch, 2007, p. 53]). Dans une perspective structuraliste, le sens peut être compris comme la forme du discours d'un sujet considéré comme sous-système ouvert du langage, et cette forme est donnée comme la géométrie d'un diagramme évolutif.

Nous pensons que la théorie des catégories, parce qu'elle est elle-même un discours mathématique ouvert à propos de l'activité mathématique (et dans l'activité mathématique), est dans la position la plus naturelle pour permettre la construction de modèles pertinents.

Vers 1950 un livre de mathématiques pour le cours élémentaire s'appelait « le Calcul Vivant » [Vassort, 1949]. L'expression 'calcul vivant' désignait, suivant Freinet et le mouvement de l'Ecole Moderne, un apprentissage des mathématiques analogue à celui naturel de la langue. Nous partons de là : le calcul est vivant de même que la langue est vivante, et donc le vivant du calcul peut servir à montrer le vivant du sens. On vise ainsi une vivacité du sens bien réelle, quoique différente de celle qui consiste à insister sur un caractère ineffable et transcendant de la parole d'un humain.

Plus précisément notamment à propos de l'analyse des discours, en fait ce sont bien les méthodes des catégories et de la cohomologie générale qui seront en jeu, comme nous en avons déjà pris acte dans l'analyse par le moyen de la logique mobile [Guitart, 2004]. Par l'emploi de cette démarche néo-structuraliste catégoricienne deux écueils liés peuvent être évités. D'abord une numérisation trop hâtive qui pour rendre le service que l'on sait de fournir des « résultats chiffrés » inertes oblitère l'accès à la vivacité de la lettre et au sens théorique du modèle. Ensuite la confusion sur l'équivoque même de ce que signifie le terme de « modèle » [Guitart, 2008]. Parfois le modèle est considéré comme un automate où l'on injecte des données et dont on attend des valeurs prédictives monnayables, sans chercher à comprendre pourvu que ça marche. Parfois il s'agit plutôt d'un laboratoire de manipulations symboliques d'idées dont on attend qu'il fournisse ou permette des explications intellectuelles. Parfois encore le modèle est du côté de l'imitation du geste, c'est-à-dire que sa proposition est celle d'un agir théoricien, avec des symboles, qui fera éprouver à qui le ferait un analogue de ce que l'on éprouve en vrai quand on réalise la situation modélisée : de l'affect donc, du « geste à geste », soit comme le souligne Herbert Holl, le propre de la traduction vivante. Pour notre part, c'est justement du côté de ce dernier sens « affectif » que nous envisageons la construction de modèle ; et ici nous voudrions y insister, en supposant non seulement que le travail du modélisateur touche à la pratique vivante de la traduction, mais que ce qu'il modélise (c'est-à-dire, pour notre cas, les discours), soit aussi considéré comme un système vivant, de sorte que, in fine, il s'agit d'une question de « vivant à vivant ».

Le « vivant » d'un discours tient à la confrontation réactive de qui parle à la grammaire, elle-même en évolution, à son respect et sa transgression pour fabriquer du sens, au plongement donc du discours dans la langue, aux effets structurels de ce plongement sur la poursuite du discours. Ainsi dans le vocabulaire de Jacques Lacan, ce qui est en jeu c'est la signifiante et non pas la signification. Et de surcroît ce « vivant » d'un discours n'est pas à confondre avec le « vivant » biologique du corps de celui qui parle ; c'est même dans une interaction entre ces deux systèmes vivants hétérogènes, la langue et le corps, dont l'humain est équipé, que l'on pourrait chercher une théorie du symptôme en psychanalyse.

Que la langue soit à penser comme un système vivant, et aussi le langage de chacun et avec lui ses fragments qui se tiennent en discours, cela peut s'entendre notamment en suivant les idées du psychologue Lev Vygotsky [Vygotsky, 1934]. Pour Vygotsky le langage de l'enfant d'abord destiné à une fonction exclusivement sociale pour l'échange d'information, évoluerait, suivant son développement, vers une forme égocentrique et intériorisée, assurant une fonction de régulation de l'action, et notamment de description, de planification, d'anticipation, et ce langage évolutif est un médiateur pour le fonctionnement de la pensée. La notion cruciale chez Vygotsky est celle de « zone proximale de développement », soit " la

distance entre le niveau de développement actuel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes seul et le niveau de développement potentiel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes lorsqu'il est assisté par l'adulte ou collabore avec d'autres enfants plus avancés". Le développement de l'enfant et de son langage, et par suite de sa pensée, reste alors ouvert, il suit des pistes variées, suivant les sources d'apprentissages dans un milieu social complexe. Son apprentissage sera organisé par « étayage » dans la zone proximale de développement. On conçoit ainsi le discours comme vivant dans la langue de celui qui le « parle », et cette langue comme vivante dans le milieu social.

Certains auteurs [Clot, 2001] rapproche les idées de Vygotsky et celles de Bakhtine, car elles se complètent. Bakhtine propose une analyse dialogique du discours, le sens étant à construire dans l'étude des répliques de discours à discours, dans les interactions de locuteurs, où se constitue l'ouverture d'un monde de possibles. J. P. Darré indique alors (cité dans [Clot, 2001]), à la manière de Bakhtine, que « la conscience, loin d'exister pour elle-même, est une orientation vivante du corps vers soi et les autres ». Ce dont la conception du sens d'un discours profitera.

On remarquera ici tout spécialement l'analogie entre l'idée de la zone proximale de développement et l'idée associée pour l'apprentissage, entre l'hypothèse de l'interaction de locuteurs dans les dialogues, de la conscience et du sens comme projet dans l'interaction, et la modélisation catégorique dans la méthode EV de l'anticipation dans un système vivant.

Très souvent dans l'argumentation, les opposants sont d'accord sur les éléments pris un par un, mais pas sur le fait de les mettre ensemble, de les associer comme un tout A. Parce que la mise ensemble et le rapprochement fait émerger quelque chose de neuf, du sens, dont il faut à nouveau débattre, au-delà du débat sur les significations isolées des éléments. La forme de la mise ensemble, que l'on modélise dans un premier temps comme une limite inductive ou un recollement, doit alors être analysée au regard des ruptures avec la logique, la grammaire et les usages d'un niveau appris et convenu. Paradoxalement, la force de l'argument dépend de la possibilité d'admettre sa nouveauté comme allant de soi, comme si évidemment chacun avait eu la possibilité de l'anticiper. Ici se place l'opérateur $d : A \rightarrow dA$ qui expose la nouveauté propre ou différence interne ou auto-variation de A, et nous y reviendrons au paragraphe 5. Ainsi dans le cas des discours, dA doit être élaborée à partir des variations logiques et exceptions grammaticales. C'était l'objet de la différentiation logique dans [Guitart, 2004, p. 21].

Dans « L'œil mathématique » [Chauviré, 2008], Christiane Chauviré explique que, suivant Peirce, le mathématicien raisonne sur des diagrammes exhibant la structure d'un état de choses mathématiques et, en faisant varier ces diagrammes, produit des énoncés informatifs qui n'étaient pas contenus implicitement dans les données et qui sont rigoureusement démontrés. Dans cette veine justement, la théorie des catégories est un calcul général des gestes mathématiciens [Guitart, 2005a], et, comme exprimé en [Ehresmann & Vanbremeersch, 2007, p. 12], « elle reflète les principales capacités de notre esprit [...] formation, dissolution, comparaison et composition de relations entre objets [...] synthèse d'objets à partir d'objets plus élémentaire par agrégations en colimites ». A ce titre la théorie des catégories est naturellement adaptée à l'analyse de l'architecture des systèmes, pouvant répondre d'une architecture de choses en mouvement par une autre architecture d'objets mathématiques en mouvement ; le point clé y est bien ceci : la pratique de la variation des diagrammes, et de l'analyse — elle-même diagrammatique encore — de ces variations. La version catégorique de la grammaire est le système diagrammatique des règles pour les constructions et déconstructions de diagrammes, et la règle majeure est la présentation des objets en solutions de problèmes universels ou en colimites (limites inductives) exprimant des recollements cohérents. La clarification de ce point et le fait que toute théorie mathématique

puisse se présenter avec ces seuls outils est à la racine de la théorie des esquisses [Ehresmann, 1968].

De ce point de vue, aujourd'hui, les discours mathématiques vivants sont très proches de jeux de diagrammes, de catégories et foncteurs, plus en tout cas que de formulations standard en termes de logiques du premier ordre ; ces discours qui « sont » des catégories donc, seront à analyser par les méthodes catégoriciennes, soit par l'algèbre homologique et la topologie algébrique (le domaine des mathématiques pour lequel en réalité la théorie des catégories a été inventée).

Quant au cas d'un discours non mathématique, la chose sera beaucoup plus difficile évidemment, mais la nouveauté intéressante est alors qu'il suffirait de voir dans ce discours le côté catégoriquement pertinent, en quoi il existe un discours mathématique qui lui soit homologue, discours formulé catégoriquement, c'est-à-dire suivant les gestes mathématiques et les capacités de notre esprit (capacités précisément en œuvre dans ledit discours). Ce discours mathématique sera donc comme une image mathématique de nos capacités à propos de ce discours qui est à comprendre.

La méthode EV se développe de façon naturelle et très intéressante vers la question de la cognition, de la théorie du cerveau et des systèmes neuronaux, de la conscience, mais ici nous n'en traiterons pas, et nous ne considérerons que l'amorce de la méthode autour de la question de l'émergence. Nous préciserons simplement que pour nous, au plus près du questionnement sur l'émergence justement, la question de la cognition est située entre celle de l'analyse de discours et celle des systèmes vivants. Notamment quand on l'envisage, au plan social, comme certains à partir de Vygotsky et Bakhtine réunis. Mais en particulier d'abord elle s'intéresse au système vivant qu'est le cerveau et à ses productions, parmi lesquelles les discours à connaître, et encore au système vivant des choses dont il parle, aux vivants à qui il s'adresse. La cognition s'intéresse donc aux processus formels de compréhension du sens du côté de son articulation entre le discours et le monde dont il parle, le monde auquel il parle, etc. Ainsi un parallèle entre ce qui nous affecte par le sens, et ce qui affecte notre cerveau quand il produit du sens, et la façon dont ce dont nous discourons affecte les autres, est possible au titre qu'il s'agit là de systèmes vivants en résonance, le discours, le cerveau, la société. On retrouve ici le fameux problème de l'intelligence artificielle de comprendre l'éventuel rapport entre les constituants de la boîte noire et ses productions, comme dans le théorème de Kleene [Barbin, 2003], mais cette fois pour l'intelligence vivante. Et c'est une perspective plus vaste qui s'amorce ici, pour comprendre comme système vivant un discours, qui ne reste pas située dans le binaire dedans/dehors, qui consiste d'abord à tenter de comprendre un discours comme en interaction vivante avec d'autres discours, et le rapport entre ce système vivant et cet autre qui est le cerveau, et cet autre qui est la société. En bref nous envisagerions les questions de la cognition et la conscience en termes de morphismes entre systèmes vivants, ce qui porte à demander une constitution de la catégorie (au sens mathématique du terme) des systèmes vivants.

On aboutit donc très vite à cette idée que le plus naturel pour comprendre les discours comme systèmes vivants sera justement de le faire dans l'esprit « catégoricien » (comme enseigné par le lemme de Yoneda, l'idée de localisation et ensuite la manipulation des diagrammes et fibrations à la place d'objets) dans les comparaisons du discours à d'autres systèmes vivants dont en quelque sorte il dépendrait. La poursuite dans cette perspective demanderait donc bien la description d'une catégorie des systèmes vivants LS. De la sorte le sens d'un discours D serait compris comme l'analyse de la façon dont il résonne catégoriquement parmi les systèmes vivants, quelque chose comme la forme LS/D (voir la description des formes ci-dessous à la fin du paragraphe 2).

Nous devons donc considérer sérieusement la spécificité de l'idée de modélisation en biologie à l'aide des catégories. Bien entendu il y a là déjà une copieuse littérature à travers

les développements de la « théorie des systèmes » en termes de catégories, comme, par exemples, ceux de [Goguen, 1971] ou de [Ehrig & Kreowsky, 1974]. Mais si nous voulons ici nous limiter à la question stricte du vivant, nous citerons plutôt en premier Robert Rosen qui pensait déjà aux catégories en 1958 [Rosen, 1958] (conjointement à l'idée de modélisation topologique et relationnelle de la biologie de N. Rashevsky [Rashevsky, 1954, 1967]) et jusqu'au développement de sa théorie des systèmes anticipatifs [Rosen, 1985, 1986]. Notons qu'en 1974 déjà I. C. Baianu et M. Marinescu [Baianu & Marinescu, 1974] modélisent catégoriquement l'idée des systèmes Métabolisme-Réparation de Rosen. Pour notre propos sont intéressants aussi les travaux de P. Kainen [Kainen, 2005] qui souligne que les entités de la théorie des catégories sont dans un constant processus d'enrichissement, au sein d'une hiérarchie en progrès, et que nous avons là une ressemblance avec l'évolution. Plus précisément il indique que la perception et l'action dans les systèmes vivants peuvent être analysés en termes de foncteurs adjoints, ou, mieux, suivant ce qu'il appelle des adjoints faibles [Kainen, 1971], car alors il peut modéliser la non-unicité pour l'action biologique. Il indique aussi que la préservation des colimites a à voir avec l'anticipation des conséquences, renvoyant sur ce point à [Dubois, 1998] et à [Ehresmann & Vanbremeersch, 1987]. I. Baianu [Baianu, 2007] travaille actuellement la question de l'« ontologie catégorique », en relation donc avec les développements sur ce sujet de R. Poli [Poli, 2001], envisageant la question des niveaux en relation avec la complexité émergente, le traitement avec les techniques de la théorie des catégories de l'analyse des caractéristiques et du liage des niveaux. Il met aussi l'accent sur l'utilité des colimites dans l'analyse de l'approche « local-to-global » du développement des organismes suivant E. Mayr [Mayr, 1970]. Enfin citons l'existence des approches récentes mutidimensionnelles et en termes de topos [Baianu et al., 2006].

Nous rentrerons ici, dans cet article, dans la compréhension du rapport de modélisation entre catégories et systèmes vivants prioritairement suivant les travaux entrepris depuis plus de vingt ans par Andrée Ehresmann et Jean-Paul Vanbremeersch. Une particularité de leur entreprise est que les élaborations n'en restent pas à un état descriptif utilisant le vocabulaire et les premières définitions de la théorie des catégories (objets, morphismes, foncteurs, adjoints) mais elles sont véritablement travaillées de l'intérieur par l'artisanat catégoricien du diagrammatique, et les idées résultent souvent d'abord de la manipulation, et du calcul en dessins. Ils utilisent d'emblée, dès 1987, sensiblement plus que la partie élémentaire de la théorie des catégories, et notamment ils en appellent expressément aux procédés de complétions diagrammatiques par limites inductives et aux manipulations de fibrations. Les limites inductives sont des recollements, les fibrations sont des lax-colimites, c'est-à-dire encore des recollements, plus flexibles, et l'outil premier de la méthode Ehresmann-Vanbremeersch (EV) est donc l'utilisation à deux niveaux de procédures de recollements, ou de limites, la mise en scène de la tenue ensemble de cohérences, et de leurs variations, et d'une sorte d'auto-guidage du système. En un sens c'est comme dans la mise en équation de la mécanique quand on écrit la loi de Newton qui exprime la poursuite d'une trajectoire sous la forme $(mx')' = F$; là aussi on regarde une variation (-) d'une variation (.)'. En fait Andrée Ehresmann (Bastiani) avait déjà entre 1962 et 1965 étudié les « systèmes guidables préférentiels » en liaison avec le principe d'optimalité de Bellman à l'aide des catégories et espèces de structures [Ehresmann, A. 1963, 1964, 1965] (voir une synthèse et la mise en relation avec les études sur les MES dans [Ehresmann, A, 2008]) et on est bien maintenant, vis-à-vis des systèmes vivants, encore comme sur une version catégoricienne d'un auto-guidage qualitatif.

2- LA VIE ET LA MACHINE, LA METAPHORE. Mais d'abord, avant de continuer avec les catégories et la méthode EV, essayons de clarifier sommairement ce qu'ici nous entendrons

par « organisme vivant » ou « système vivant ». A la question : Qu'est-ce que la vie ? il a été répondu dans l'histoire de façons diverses [Morange, 2003], [Tirard, 1997, 2000, 2008].

A un extrême, au début du 18^{ème} siècle, Georg-Ernst Stahl développe l'idée de l'animisme, une première forme de vitalisme. Les être vivants y sont des organismes, soit des « mixtes » physico-chimique qui de plus sont doués d'une finalité, par et pour laquelle ils existent comme agrégats complexes très-précis et fragiles. Les êtres vivants sont caractérisés par leur développement et leur corruptibilité, respectivement causé et empêchée par leur âme (spirituelle), qui produit la force vitale en eux, par laquelle ils échappent aux lois de la physique et de la chimie (voir [Pichot, 1993, pp. 453-502]). A la suite de Stahl, les vitalistes français (Paul-Joseph Barthez, Théophile de Bordeu, Xavier Bichat) ne retiennent pas l'idée d'une âme spirituelle, s'accordent à attribuer à l'être vivant un principe qui lutte contre les lois physiques, lesquelles sont considérées comme contraires à la vie [Pichot, 1993, p. 525]. Ainsi Bichat écrit des corps vivants : « bientôt ils succomberaient s'ils n'avaient en eux un principe permanent de réaction. Ce principe est celui de la vie » [Bichat, 1962, 43], et l'on connaît sa célèbre formule : « la vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort ».

A l'autre extrême, mécaniste, Ernest Kahane affirme au 20^{ème} siècle que « La vie n'existe pas » [Kahane, 1962]. Et déjà en 1922 Jean Nageotte s'opposait radicalement au vitalisme et à « l'illusion finaliste » [Nageotte, 1922] : « Rien de ce que nous savons jusqu'ici ne nous autorise à voir dans la vie autre chose que l'enchaînement naturel des phénomènes physiques et chimiques qui se passent dans les êtres vivants ». Alors Nageotte situe le problème dans la « complexité extrême » des situations, et insiste contre tout émergentisme : « nous ne devons donc pas attribuer des propriétés des ensembles à des forces qui n'auraient pas leur source dans les constituants ».

Et en fait, paradoxalement, pour toutes les tentatives de définition de la vie c'est toujours dans la tension même entre science de la matière et science du vivant que la réponse est recherchée. En suivant un exposé de S. Tirard [Tirard, 2008] des étapes sont les textes de Buffon, de Lamarck (Recherches sur l'organisation des corps vivants, 1802), Thomas Huxley [Huxley, 1870], Oparin [Oparin, 1924] and J. B. S. Haldane [Haldane, 1929], Schrödinger [Schrödinger, 1944] où sont avancées les questions de l'information (d'une génération à une autre) et des macromolécules, J. Monod [Monod, 1970], E. Schoffeniels [Schoffeniels, 1973], M. Morange [Morange, 2003].

En guise de définition de la vie il a d'abord été répondu plutôt en fait à la question de l'origine et de l'histoire de la vie, comment la vie a commencé et s'est construite. Il y a donc, dans la première moitié du 20^{ème} siècle, avec notamment Oparin et Haldane, le scénario sur l'origine de la vie depuis « l'origine », d'une soupe prébiotique vers l'élaboration des protéines et d'une matière organique complexe, et notamment les coacervats complexes de Bungenberg de Jong en 1932, l'expérience de Stanley Miller en 1953 [Miller, 1953], [Maurel, 2003, p. 43], [Bada & Laczano, 2003], qui réussit à fabriquer des acides aminés, autour de l'idée d'un vivant analysable et reconstituable. Aujourd'hui G. Joyce [Joyce, 1992] qui traite d'évolution moléculaire dirigée, avance que « la vie est un système chimique auto-entretenu, capable de subir une évolution darwinienne » ; cela étant avancé en relation avec le programme d'exobiologie de la NASA, fondé sur la variation et un processus de sélection. Dans cette ligne de pensée « synthétique », en 2002 la synthèse in vitro {d'un acide nucléique permettant après insertion dans une cellule vivante} du virus de la poliomyélite a été réussie [Cello et al., 2002].

On notera que l'approche par la question de l'origine est comme un « bégaiement » utile de la question de l'émergence. En effet admettons, avec Marie-Christine Maurel, que « le vivant doit avoir la capacité de se reproduire, se permettant parfois ces fantaisies, ces variations (ou erreurs comme certains les nomment à tort) que sont les mutations indispensables à l'évolution. Il n'y a de la vie que là où il y a évolution. La vie transforme

énergie et matière en structures complexes et la vie est limitée dans l'espace et dans le temps » [Maurel, 2003, p. 38]. Alors il s'agirait d'un phénomène de complexification par erreurs nécessaires et sélections de nouveauté (ce qui demande qu'à au moins deux niveaux le système s'auto-informe). La question est alors celle de la cause même de la complexification d'où émerge du neuf, celle d'un processus d'émergence lié à un jeu d'auto-rétro-action. L'approche par la question de l'origine consiste alors à se demander : comment les systèmes capables d'émergence et rétro-action ont-ils émergé ?

Enfin, à l'envers on peut s'interroger non pas sur la définition de la vie, ni sur la question de son origine, mais sur l'exhibition de critères pour décider qu'il y a de la vie. Morange indique qu'on ne peut définir que des entités théoriques, et non des objets du monde, et que d'abord les êtres vivants sont déterminés du fait qu'ils forment un système vivant. Il insiste sur l'intérêt de penser suivant quelles modalités les caractéristiques de la vie sont reliées et présentes ensemble. Il précise [Morange, 2002] que la majorité des biologistes s'accordent sur trois caractéristiques : la reproduction avec variation, la complexité moléculaire, et l'activité métabolique d'échange.

C'est précisément suivant ces traits que nous voudrions élaborer la théorie du sens d'un discours, plutôt que sur la base des conceptions en termes de codages et décodages. Pour nous le sens serait comme un excès sur les procédures de codage, comme la vie est un excès sur le purement physico-chimique ; dans les deux cas il importe de pointer ledit excès autour des effets de signifiant et de l'émergence de structures nouvelles engendrées (par le système vivant, resp. par le discours). Notamment une métaphore dans un discours apparaît comme l'émergence d'une nouvelle possibilité d'amalgamation.

En vue d'une saisie mathématicienne en termes de catégories, nous relèverons encore la définition de Robert Rosen (citée dans [Baianu, 2006] ; voir aussi [Rosen, 1991, p. 244]) : un système matériel est un organisme (vivant) s'il est capable de métabolisme et de réparation, et si, en même temps, il est « fermé à la causalité efficiente » (closed to Efficient Causation). La « fermeture à la causalité efficiente » signifie à peu près que si l'on considère une composante du système, son mode d'être a sa réponse dans le système : le système contient le tout de sa propre cause efficiente. Un tel système contient donc les raisons de son organisation fonctionnelle en son sein. On peut aller encore plus loin dans l'analyse de la caractéristique d'autonomie du vivant, en distinguant avec A. Chemero et M. Turvey [Chemero & Turvey, 2006] entre la fermeture à la causalité efficiente, la fermeture opérationnelle [Varela, 1979] (quand les effets du système font partie du système) et la fermeture catalytique [Kauffman, 1993] (quand les produits du système sont aussi des catalyseurs du système). Chemero et Turvey expliquent ces distinctions et les idées de Rosen au moyen des hyper-ensembles (au sens de [Aczel, 1988]).

Conservons donc pour la suite ici l'idée que dans le vivant il y a certainement de la « matière » organisée en interaction avec le milieu et avec soi-même, du catabolisme et de l'anabolisme, de la reproduction, en interne, avec autonomie. On retient surtout les thèmes de la complexité et la hiérarchie, de la variation, de la prolifération et de l'émergence, de la régularité et encore de la singularité, de la catastrophe. La vie et la mort, l'émergence et la fracture, donc, pour employer des termes de [Ehresmann & Vanbreemsch, 2007]. En fait l'émergence est une vraie émergence en effet à condition que la condition de Rosen soit satisfaite, que ce qui émerge vienne du dedans du système, et c'est cela qui implique que la mort du système puisse se concevoir aussi en raison interne au système, en termes d'émergence ratée, pour nous approcher des idées de la méthode EV. Sur la question de la détermination du vivant la méthode est compatible avec les positions de Rosen, comme les auteurs s'en expliquent dans [Ehresmann & Vanbreemsch, 2006], notamment relativement aux questions d'anticipation.

Tout le paradoxal à accomplir ensuite sera d'articuler cette provenance « interne » de la cause de la vie et de la mort du système (c'est le système lui-même qui fait l'acte de vivre et de mourir, de façon autonome) aux relations « externes » du système avec son milieu, son environnement, sans que pour autant le milieu soit en position causale classique stricte. La cause naïve vulgaire de la mort peut bien être un agent extérieur, mais il faut comprendre dans le système pourquoi cet agent cause la mort, jusqu'au point où cette « mort possible » soit comme inscrite dans le développement du système : question de l'anticipation ou non par le système des effets de cet agent.

En fait la conception du vivant sert de métaphore directrice pour penser au-delà du mécanisme élémentaire, tout ce que l'on qualifie aujourd'hui de « complexe », c'est-à-dire les systèmes où, suivant Hervé Zwirn [Zwirn, 2006] on relève les propriétés suivantes : holisme (« le tout est plus grand que la somme des parties »), auto-organisation et émergence (la richesse des interactions permet au système de s'organiser de manière spontanée), adaptabilité, évolution et sélection. Sont notamment envisagés ainsi, en sus de la biologie, l'économie et la linguistique, et aussi les systèmes de vie ou intelligence artificielle. Nous pensons à notre cerveau comme vivant, non seulement parce qu'il est évidemment un organisme biologique vivant, mais aussi à cause de sa complexité, et de la complexité de ce qu'il fait. Pour Marvin Minsky, le fonctionnement de notre cerveau de même que le fonctionnement de notre société est une affaire de diversité et complexité. Il dit que « très peu de nos actions et décisions dérivent de mécanismes simples. Plutôt elles émergent de conflits et négociations parmi des sociétés et processus qui constamment se disputent » [Minsky, 1988]. Pour lui, « les esprits sont simplement ce que les cerveaux font », et la complexité des cerveaux explique celle des esprits.

Dans cette perspective élargie, du vivant strict, pour autant que l'on sache le définir, aux systèmes complexes, ce qui demeure présent est l'idée de l'émergence. Particulièrement intéressantes à ce sujet sont les idées sur les automates cellulaires, les réseaux de neurones, l'intelligence de l'essaim (voir [Bonabeau et al., 1999] ou [Eberhart & Kennedy, 2001]), où en effet c'est le collectif seul qui produit quelque chose de nouveau, non envisageable depuis chaque composant. Mais le « nouveau » dans ces systèmes en « essaims » peut être très riche même pour des composants et un assemblage relativement simples, et donc il ne dépend pas nécessairement de la complexité initiale, et il relève plutôt d'un effet de structure par prolifération, comme un cancer, voire comme une exubérance, laquelle en effet semble complexe au regard de la simplicité de base du système.

D'un autre côté, si l'on songe à la conception de Stahl, du vivant comme, dirons-nous, système très-complexe instablement stable, par où se comprend la nécessité de la mort, on peut vouloir attacher le vivant aussi à sa complexité native même comme système (et non pas à la complexité de ses productions). Et là nous pouvons songer à la théorie de la complexité à la Chatin, aux preuves du théorème de Gödel qui le renforce dans une direction toute différente de celle originelle de l'auto-référence, en allant du côté de la complexité : les énoncés trop complexes relativement à un système de preuve donné seraient improuvables (voir [Chatin, 1982], [Calude & Jürgensen, 2005], [Delahaye, 2009]). Alors au-delà donc de tout mécanisme présumé il y aura du très-complexe inaccessible en raison, dont l'émergence est donc en ce sens du nouveau, pour ne pas dire du vivant et/ou autonome (hors de portée de tel système de guidage annoncé). Du reste ce « vivant » en raison de l'incalculabilité existe déjà dans nos systèmes physiques les plus classiques, comme l'ont mis en évidence Da Costa et Doria, qui ont montré qu'il existe des équilibres spécifiés comme solutions d'équations mathématiques dont la stabilité est incalculable ([Barrow, 2006], [Da Costa & Doria, 1991]).

On remarque que pour les systèmes physiques « à la manière ancienne », ces aspects du vivant ne sont pas thématiques a priori, mais qu'au contraire l'on y pose une recherche de la

loi simple, des objets simples, de la stabilité, de la reproduction du même à l'identique ; et ainsi on peut du coup comprendre la position de Stahl à son époque. Mais au sein même de la recherche physique la situation a changé, d'abord du fait d'envisager les lois probabilistes, soit des lois avec peu d'exceptions (sic), ou plutôt, en lieu et place d'énonciations de vérités, des modes d'analyse de la répartition des exceptions à une loi prétendue : ça se complique donc d'un mode d'analyse du « peu ou prou d'exceptions », de la forme du jeu des exceptions. Puis la situation change encore du fait d'envisager carrément les singularités, les exceptions catastrophiques donc, comme l'instance qui en dernier recours détient la loi des cas réguliers. Et puis l'analyse chiffrée définitive elle-même est remise en cause quand on cherche des modèles qualitatifs, et que l'on cherche à remonter dans les calculs, à les déconstruire, au prix d'une seconde complexité.

Il y a donc bien sûr maintenant dans la physique le souci de la complexité, de l'irrégularité. Cependant quand ces aspects sont en action dans la théorie physique, c'est précisément soutenus au niveau intuitif d'une métaphore avec le système vivant : le physicien se dit que tout se passe et se pense comme si c'était vivant. Et pendant ce temps-là certains biologistes rêvent à l'inverse, au vivant comme à une incroyable super-machine. Tout comme Leibniz a décidé de placer le calcul de l'infini dans l'algèbre (ce qui reste un rêve pour lui et son époque, mais que d'une certaine manière le 19^{ème} siècle accomplit quasiment) on peut rêver de placer les lois du vivant parmi les lois possibles de machines, et que finalement cela s'appelle encore « machine ». A la fin la question qui reste sensible cependant est justement, pour ces « machines », la manière dont la causalité s'y gère. Dans la vue de Rosen, les systèmes vivants complexes n'ont pas une logique classique et ne ressemblent aux systèmes physiques que localement dans l'espace et dans le temps. Ces systèmes seraient alors comme des variétés (manifolds) recollant des systèmes physiques classiques, et par suite le principe du vivant se tiendrait au point précis de la procédure de recollement et de sa variation dans le temps et l'espace. Ainsi le cœur d'un système vivant tiendrait en une procédure de recollement de modèles « physico-chimique » classiques, et de plus la fonctionnalité principal du système, à savoir le phénomène de l'émergence en lui, tiendrait encore, en lui, à un processus de recollement. Ce qui est précisément accompli dans la méthode EV, avec la considération de fibrations pour le premier recollement, et de colimites pour le second. Nous avons déjà observé cela à la fin du paragraphe 1.

Christiane Sinding [Sinding, 1993] examine le recours aux métaphores en biologie, et notamment le rôle en endocrinologie de la métaphore de la « sagesse du corps » d'Ernest Starling, et la métaphore cognitiviste qui conduit à parler de récepteurs, de messagers. Tout se passe comme si la théorie du vivant se développait comme une image de notre conception même de la connaissance, à l'intérieur d'un discours sur la connaissance, comme effet de ce discours. E. F. Keller étudie aussi le rôle des métaphores dans l'invention des dispositifs théoriques de la biologie [Keller, 1999]. D'abord elle souligne que « la distinction classique entre sens littéral et sens métaphorique n'est guère plus soutenable dans le langage scientifique que dans le langage ordinaire ». Derrière l'invention du gène on voit encore la métaphore de l'homoncule, et elle observe qu'avec l'idée de texte codé (Schrödinger) on assiste à la « localisation du démon de Maxwell dans la structure moléculaire du gène ». Par là se pointe que des outils d'analyse du langage fonctionnent comme sollicitateurs pour penser la théorisation de la vie, sollicitent à leur titre l'invention théorique du vivant. La pensée en termes de gènes et codes comme encodage du vivant donne à penser le système vivant comme un super-texte, écrit encore une fois comme la nature en langage mathématique, mais non plus celui de la mathématique qui nous parle de la géométrie euclidienne comme c'était le cas avec Galilée pour la physique, mais celui de la mathématique qui nous parle des mots et du langage. Alors, est-on tenté d'avancer, le proprement vif du vivant est identifiable au sens de ce super-texte.

Ainsi l'explication physique du mécanique comme l'explication biologique du vivant se confrontent au pied de la métaphore d'un livre mathématique, tantôt pour la géométrie, tantôt pour la linguistique. On admettra que quelque chose ici pourrait s'unifier du fait d'emprunter un régime mathématique unifiant ces deux-là et la plupart de ceux que l'on peut imaginer, je veux nommer bien sûr le régime de la théorie des catégories, qui admet clairement comme sous-régimes bien identifiables ceux de la géométrie des figures et mouvements et de l'algèbre des mots et codages. Charge à nous dans le grand livre de la nature inerte et/ou vive de distinguer ce qui relèverait plutôt de l'analyse du mort et ce qui relèverait plutôt du vivant. D'où, en reprenant le tableau à l'envers, notre proposition d'étudier le sens d'un discours en tant que la vivacité de ce discours, tandis que sa vérité serait conçue comme son inertie basique constitutive. La modélisation du vivant se placerait alors au point de tension, dans le livre catégoricien de la nature, entre l'algèbre et la géométrie ; et ce point est repéré mathématiquement comme le lieu de l'exercice de la cohomologie et de l'homologie, de l'analyse algébrique des formes et figures, et notamment de l'analyse catégoricienne de la forme et de la co-forme.

La théorie de la forme en catégorie est remarquablement simple et efficace. On y considère un foncteur $J : \underline{M} \rightarrow \underline{X}$, puis pour chaque objet X de \underline{X} la catégorie des objets au-dessus de X via J , notée $\underline{J/X}$, avec un foncteur fibrant $[J/X] : \underline{J/X} \rightarrow \underline{M}$. On récupère alors un foncteur $[J/-] : \underline{X} \rightarrow \underline{\text{Fib}}(\underline{M})$ de \underline{X} vers les fibrations sur \underline{M} , qui « analyse » les objets de \underline{X} comme agrégations d'objets de \underline{M} . On considère donc que les objets de \underline{M} sont des modèles « simples » avec lesquels on veut construire les objets de \underline{X} , et a contrario on voit $[J/X]$ comme l'information sur X perceptible depuis \underline{M} , la « forme » de X . Nous considérerons ces calculs de forme comme l'ingrédient initial d'une analyse et modélisation catégoricienne. En effet il s'agit, avec les propriétés de $[J/-]$ juste d'une version dynamique du fondamental lemme de Yoneda, à travers laquelle est explicitement indiquée que l'homologie ou la cohomologie des objets, analysant leurs constitutions, est en réalité associée au choix d'un point de vue « J » et à la seule forme de l'objet à travers ce point de vue.

Si avec la théorie de la forme on dispose d'une mécanique de calcul catégorique très souple pour la modélisation catégoricienne, la raison profonde à notre avis est que l'unification des spécifications catégoriques (adjonction, limites, extensions, fidélité, cofinalité, etc.) que procure la théorie des carrés exacts [Guitart, 1980] trouve là aussi à intervenir de façon centrale. En effet si l'on veut comparer les théories de formes la notion naturelle de morphisme est justement la notion de carré exact. On dispose alors d'une catégorie naturelle des théories de formes, et on peut donc recommencer le procédé, introduire la « forme d'une théorie de formes », etc.

3- LE TEMPS, LE CALCUL, LES OBJETS, L'INDIVIDUATION. On distingue la « lettre claire » de la géométrie, qui se voit, et la « lettre aveugle » de l'algèbre, qui se touche. Pour Hamilton l'algèbre c'est le temps, et l'émergence inventive de la pensée est ce qui advient dans l'exercice aveugle du calcul. Le temps dans un modèle est celui du calcul en cours, l'espace est l'écartement que l'on comprend à distance d'une figure vue. Mais bien sûr cette tension est dialectiquement dépassée par la mise en scène de ces deux pôles dans le cadre unifié des catégories, et c'est la ressource imaginative souterraine des catégories que de véhiculer simultanément ces deux intuitions contraires du temps et de l'espace, autour d'un noyau commun qui est identifiable au diagrammatique. Peut-être même la considération plus primitive de l'idée du rythme (à la manière de Pierre Lusson), d'où par quotient dériveraient et le temps d'un côté, et l'espace de l'autre, est-elle possible sous la forme de la donnée d'une catégorie.

On n'oubliera pas non plus la grande flexibilité paradoxale pour modéliser qu'il y a dans l'idée d'une flèche, qui tantôt signifie une distinction tantôt une identification. Au sein

d'une modélisation catégorique sont ainsi homogènes les deux grands points à indiquer dans un modèle, la différence et l'assimilation entre objets, qui seront donc ainsi spécifiés simultanément en termes de relations entre agglomérats et réseaux d'objets.

Mais le point le plus décisif est celui-ci : la théorie des catégories, comme théorie générale des pratiques et gestes mathématiques, se constitue très précisément dans un mouvement historique de désintérêt pour la quête d'objets mathématiques concrets dans le monde mathématique ; en approche catégoricienne un objet n'existe pas hors du fait qu'il est nommé comme point de rencontre au sein d'une catégorie. Nous ne voulons pas des choses substantielles, nous n'avons besoin que d'opérateurs fonctionnels.

L'idée même d'un fondement mathématique à construire pour les mathématiques était déjà, à la fin du 19^{ème} siècle, une distanciation d'avec la prétention à l'immédiate existence des objets mathématiques dans le monde. Ensuite, la visée axiomatique continua à entamer sérieusement la croyance en la réalité d'une correspondance nécessaire entre constructions mathématiques et objets du monde « réel ». Au sein même de la pratique mathématicienne la croyance aux vrais objets mathématiques considérés comme avatars d'idées platoniciennes demeure vivace encore, mais surtout au titre du jugement esthétique. Les objets n'ont plus, ni immédiatement ni nécessairement, de correspondants mondains naturels. En fait, et paradoxalement en apparence, quand on décide de se tourner vers une approche fonctionnelle des mathématiques, les objets intra-mathématiques comme les nombres, les ensembles de nombres, telle fonction, tel espace, disparaissent avec leurs constructions spécifiques dès lors que l'on adopte la posture d'une saisie théorique des objets ! L'objet est le fait d'un carrefour abstrait de morphismes, il est sans intérieur propre, il est évidé, tout à sa fonction, et ne demeure qu'à la mesure de la stabilité de cette fonction. Et, dernier point, de toute façon il n'y a pas, et il n'y a jamais eu d'objets « donnables », on ne donne que des présentations d'objets. Les présentations à leur tour sont constituées d'articulations entre d'autres objets dans une autre catégorie plus explicite. L'objet X ressort d'un constat explicite ou implicite d'une similitude entre des présentations P, il est une classe d'équivalence entre des présentations, pour une équivalence qui n'est pas immédiatement décrite, sauf par la donation justement de la catégorie où vit cet objet X; mais cette catégorie à son tour n'est donnable que par une présentation, etc.

En fait ce qui demeure c'est ceci : il n'y a pas d'objet mais des présentations d'objets, au sein donc d'une pratique de calcul et langage avec les présentations en question, et ces pratiques sont d'abord homologues, de décider et d'analyser des équivalences, de procéder à une analyse mathématique de la présentation des objets mathématiques, laquelle analyse est, mathématiquement parlant, l'algèbre homologique. En fait la situation est pire : il n'y a pas non plus de calculs, mais des présentations de calculs, et l'analyse homologique consiste entre autres à pointer des moments de déconstruction du calcul. Un exemple intéressant, et qui pourrait ultérieurement être utilisé pour le développement de l'analyse des MES notamment, est lorsque l'on peut présenter une limite comme en fait un quotient d'une lax-limite, la limite étant alors pensable en deux temps d'assimilation, le premier pour construire la lax-limite, le second pour inverser (au sens strict) les cellules dans cette lax-limite (voir les détails dans [Guitart, 1978]). Par là une analyse plus fine de l'émergence dans la méthode EV serait peut-être possible.

Nous devons évidemment relier ces remarques aux idées de Gilbert Simondon sur l'individuation [Simondon, 1964]. Pour Simondon la conception des individus stables est insuffisante, il faut aussi penser les individus comme expressément inachevés et en devenir vers un futur, et considérer plutôt qu'il y a comme essence de l'individu le processus d'individuation lui-même, dans le métastable, par recombinaison d'une multitude de facteurs changeants en interactions, comme des mises en phases et résonances développées, dégagement de formes sur des fonds, et ainsi de suite. Henri Van Lier considère dans ce sens

que « Une vue réelle de l'Univers postule une axiomatique du devenir, donc une théorie générale des échanges et des modifications d'états, que l'on pourrait nommer une allagmatique (gr. allattein, changer, échanger). Là, toute forme (Gestalt) ou formation (Gestaltung) n'existerait que dans son émergence d'un fond antérieur qui en est gros, et sa réimmersion dans un fond ultérieur vers lequel elle tend. Moins complexe ou plus complexe, plus entropique ou plus allotropique, selon les bonnes et mauvaises fortunes de l'Evolution » [Van Lier, 2006]. Ainsi, s'il n'y a pas d'individus mais seulement des individus en formation et en devenir, et qui plus est précaires, cela doit s'écrire en nos modèles du vivant. C'est bien, transposé, ce que nous venons de préciser à propos du fait qu'il n'y a pas d'objets, et précisément une présentation d'objet est, vue de façon rétrograde, ce dont l'objet est le devenir. Dans la méthode EV justement l'indication des formations d'objets par colimites a pour fonction de présenter l'objet colimite, et c'est plus largement ce que procure les analyses de « formes ». Expressément dans [Ehresmann-Vambremeersch, 1992 a] déjà est exposée l'idée que chaque CR (centre co-régulateur) du système va classer les objets non pas suivant leur isomorphie stricte mais suivant leur « forme » ; cela peut s'entendre rigoureusement ainsi en renversant l'ordre des données : du CR n'est effectivement et objectivement connue qu'une sous-catégorie de la catégorie de forme qui lui est associée, sous-catégorie que nous pourrions appeler sa forme effective. Aussi, dans le fil de nos commentaires ci-avant les CR n'existent pas comme objets, et n'existent comme diagrammes qu'ainsi, en terme de leur forme effective.

Pour aller un peu plus loin dans ce sens, nous proposons, pour un futur travail, qu'il n'y ait pas dans le modèle du vivant (ou du sens), d'objet autre qu'expressément associé à un ou plusieurs diagrammes dont l'objet soit le recollement. Autrement dit, nous supposerons associé à chaque objet B un diagramme de diagrammes $p(B)$ tels que B soit « agrégation » de chacun des diagrammes objets de $p(B)$. On pourra voir $p(B)$ comme le système des amas précédents B, et dont B est le devenir possible dans la catégorie où est situé B, et la grande opération p « passé possible » comme la donnée réciproque b du « devenir » (becoming). Ainsi on écrira $A \in p(B)$ si et seulement si $b(A) = B$. On trouve là un rôle pour les ébauches, les machines et autres hypermodules [Guitart, 1978], et évidemment les foncteurs de formes $[J/] : \underline{X} \rightarrow \text{Fib}(\underline{M})$ (rencontrés au paragraphe 2).

La modélisation suppose que l'on pose des objets ou des semblants d'objets, que l'on mette en place ces semblants dans le temps d'un calcul, qui produira des valeurs ou des affects pour le modélisateur. Dans le cas de la biologie comme dans le cas de l'analyse de discours on rencontre là de front les difficultés majeures. Quels sont les vrais objets et dans quel temps habitent-ils ? L'approche par les catégories permet de suspendre la décision sur la vraie substance constitutive des objets proposés, permet de jouer plutôt des virtualités fonctionnelles mises en scènes par les morphismes entre eux, et permet d'installer comme temps naturel interne celui de la composition et de l'agrégation et la désagrégation des objets, en miroir avec l'enchaînement et la factorisation des morphismes. Et comme temps naturel externe nous avons celui de l'observation par les foncteurs entrant ou sortant du système. Le système lui-même « calcule », il procède en lui-même à des agglomérations et des dispersions, que nous repérons aux titres d'émergences et fractures, et d'autre part nous calculons à l'extérieur du système pour comprendre les propriétés du système, ces émergences réussies ou ratées, et ces derniers calculs sont d'homologies, d'observations et mesures de changements.

4- L'EMERGENCE, LE NEUF, L'ANTICIPATION. Sur l''émergence' un article clair et avec une bibliographie étendue est [Stanford Encycl. Phil., 2006]. Voir aussi pour l'histoire [Blitz, 1992]. Une propriété émergente est nouvelle, elle a un trait qualitatif qui ne résulte pas des

propriétés de ce qui existait auparavant, et elle est non-prédictible, en ceci que la connaissance complète des propriétés de ce qui existait n'est pas suffisante pour dériver la nouvelle propriété. Au 19^{ème} siècle, J. S. Mill [Mill, 1843] dégage l'idée d'effets hétéropathiques (avec ces deux caractéristiques : nouveauté et non-prédictibilité) à propos du vivant : « il est certain qu'aucune simple sommation des actions séparées des éléments ne rendra compte de l'action du corps vivant lui-même » ([Mill, 1843], Bk. III, Ch.6, §1, p. 268). Pour essentiellement la même idée, G. H. Lewes [Lewes, 1875, p.412] introduit le terme d'« émergence ». Il faut aussi aller lire à ce sujet au moins A. Bain et H. Bergson. Dans les années 1920 l'émergence est travaillée dans les œuvres de S. Alexander [Alexander, 1920], de L. Morgan ([Morgan, 1923], [Morgan, 1926], [Morgan, 1933]), de R. W. Sellars [Sellars, 1922]. On relève aussi les conceptions de Charlie D. Broad [Broad, 1925] qui, via un certain émergentisme installe une posture médiane entre vitalisme et mécanisme : ce qui émerge est entièrement dû au niveau inférieur, et nouveau par rapport à celui-ci. Broad s'intéresse aussi à la question du libre arbitre, et ce n'est pas étonnant, car il s'agit presque du même paradoxe que celui de l'émergence. Pour nous ici c'est justement entre émergentisme et réductionisme qu'il nous faut être attentifs, si nous voulons traiter de l'émergence d'un point de vue mathématique.

L'émergent « survient » (sur l'idée de survenance voir [Davidson, 1993], où est pensée l'idée que l'esprit émerge en « survenance » sur la matière du corps), il est ajouté à l'advenue ordinaire de la simple agrégation des constituants à travers le processus. L'émergent (structure, schéma, pattern, propriété ou objet) en sortie d'un processus au niveau 1 est ce qui va au-delà de la simple résultante des ingrédients de l'entrée au niveau 0, il est proprement émergence de nouveauté, d'une qualité cohérente en sus, et ce qui émerge est non seulement inexplicé mais est inexplicable à partir des conditions initiales au niveau 0 du processus, il est irréductible aux propriétés de ce niveau 0. L'émergent semble donc provenir de l'intérieur même du processus, de ses propres capacités d'auto-organisation, puisqu'il ne vient pas de l'extérieur initial qui alimente ledit processus (voir par exemple [Ali & Zimmer, 1997] et [Goldstein, 1999]).

Frédéric Fabre [Fabre, 2005] s'intéressant à l'émergence de nouvelles significations, propose que le ressort essentiel en soit la modification des représentations de concepts et théories, comme par exemple lorsque Mandelbrot, représentant d'une certaine façon le concept classique de dimension, découvre le concept de dimension fractale. L'émergence résulte d'un réarrangement et d'une refonte d'une représentation (d'un objet, d'une conception). En mathématique notamment on peut, changeant de mode de présentation d'un objet pouvoir le voir autrement, en modifier la portée théorique et pratique, et ainsi émerge une nouvelle possibilité de calcul, de nouveaux calculs, de nouveaux résultats.

Une manière de traiter mathématiquement de l'émergence est donc à travers l'idée d'auto-déformation d'un processus et le guidage autonome de cette déformation à travers un apprentissage. Par exemple [Capera et al., 2003] dans la théorie AMAS (adaptative multi-agent systems) ce qui va émerger est le fait qu'un système va transformer sa fonction actuelle de manière autonome afin de s'adapter à l'environnement, considéré comme une contrainte qui lui est donnée. Chaque partie d'un système réalise une fonction partielle de la fonction globale, qui est le résultat de la combinaison des fonctions partielles. La combinaison étant déterminée par l'organisation des parties, il s'ensuit que transformer l'organisation conduit à changer la combinaison des fonctions partielles et donc à modifier la fonction globale, devenant par là même un moyen d'adapter le système à l'environnement. L'émergent alors n'est donc pas explicable par les ingrédients initiaux, mais par l'ajout d'une action de la modification des dispositions. Comme par exemple en cuisine l'ordre et les proximités des ingrédients influencent sur la nature finale du plat.

Le principe général de départ de cette démarche AMAS, et aussi l'idée de Fabre sur la modification des représentations, peuvent être rapprochés de celui de la méthode EV qui nous

intéresse ici. L'émergent dans la méthode EV est plus globale que les ingrédients locaux dont l'objet émergent est composé, et résulte précisément de quelque chose qui n'est pas donné comme un objet élémentaire local, qui est justement la disposition globale des ingrédients locaux : ce qui émerge est donc nécessairement de l'ordre du global (la disposition des éléments n'est pas un élément). De la sorte un méta-réductionisme est possible, et une saisie mathématique d'icelui comme la forme du processus de recollement même — en termes donc d'homologie — bien que le réductionnisme strict ordinaire aux constituants élémentaires soit exclu. Notamment via l'homologie on pourrait quantifier l'émergence.

Cependant on pourrait pousser le modèle un peu plus loin, dans une direction naturelle pour la méthode EV, où en anticipant les complétions successives utiles a posteriori, on peut considérer ab initio les collectes et assemblages qui auront lieu comme déjà des éléments. Mais les propriétés relatives les uns aux autres de ces éléments restent entre-mêlées de façons compliquées, car, comme l'explique la méthode EV, il ne s'agit pas seulement de complétions libres successives, mais on choisit d'ajouter certaines limites, d'en supprimer d'autres, de forcer certains cônes à devenir des limites (voir « A Characteristic of Complexity », [Ehresmann & Vanbremeersch, 2007, theorem 7, p. 141]) ; et c'est d'ailleurs là une cause essentielle d'émergences. La vision de la complexification hiérarchique en niveaux de formations successives de colimites utilisée par Ehresmann et Vanbremeersch peut [Obtulowicz, 2007], mais pour une part seulement, être visualisée agréablement en termes de systèmes à membranes au sens de [Paum, 2000].

Après coup, considérant tout le système dans son histoire, tous les ingrédients seront des éléments, y compris les parties d'éléments utilisées. Une fois l'histoire passée, le réductionnisme peut redevenir presque complet. Le fait des émergences est alors concentré sur ce point que précisément on a eu besoin de faire une histoire, certes, mais là encore on ne peut avoir une réelle anticipation intégrale a priori (réductionnisme absolu) tant que, parmi les diverses complexifications possibles éventuellement impossibles, le temps de la vie du système n'a pas effectué son choix. On comprend sur ce point la finesse du modèle des MES.

Il y a deux modalités de l'émergence qui ont été remarquées depuis longtemps. L'une, que nous dirons verticale, est « spatiale », produite par exemple par un changement d'échelle ou de niveau hiérarchique structurel au point de la perception, comme lorsqu'en reculant devant un tableau tout à coup on voit ce qui de trop près ne pouvait être saisi, comme l'on découvre sur une carte le nom du pays seulement en regardant d'un coup d'œil l'ensemble. L'autre que nous dirons horizontale est « temporelle », demande du temps, et, de la part du système un travail d'adaptation, de sélection, de transformation du système lui-même dans le temps. Dans le modèle de la méthode EV les deux directions sont explicitement prises en compte, la première par le rôle de la complexification hiérarchique, la seconde par le rôle des co-régulateurs et de l'évolution elle-même guidée par ces co-régulateurs en réaction avec le milieu. La distinction est très intéressante, dès lors que l'on comprend que justement la co-régulation temporelle horizontale consiste en des actions entreprises pour modifier la complexité hiérarchique verticale, en changeant l'état de cette complexité. L'émergence est causée par l'auto-régulation des co-régulateurs, et elle est repérable pour un observateur externe au point d'une variation verticale produite horizontalement dans l'agencement de la complexité des agrégations.

Alex Ryan [Ryan, 2006] adopte un point de vue proche de celui de Y. Bar-Yam ([Bar-Yam, 1997] et [Bar-Yam, 2004]), et il pense que l'explication de l'émergence par le recours aux niveaux risque d'être un cercle vicieux, et/ou une tautologie. Aussi, comme nos hiérarchies sont plutôt épistémiques, cette explication met trop l'accent sur l'épistémique au détriment de l'ontologique. Or on devrait mieux distinguer les émergences épistémiques et les émergences ontologiques. En fait pour Ryan l'explication par la hiérarchie crée de la confusion, mais cette confusion se dissout si l'on remplace l'idée de niveau par un système de

résolution, de portée et d'état. C'est-à-dire résolution ou échelle, visée ou découpe ou de portée (scope) définie par une frontière spatiale et temporelle (i.e. relative à la disposition en cours des composants), et états. Un état du système est l'information qui distingue entre les éventuelles configurations du système à un moment donné pour une résolution donnée ; macro-état et micro-état signifient deux ensembles d'états avec des résolutions et des scopes différents. L'émergence résulte alors des relations entre les « scopes » des descriptions d'un macro-état et d'un micro-état : « une propriété est émergente si et seulement si elle est présente dans un macro-état et non dans le micro-état ».

Cette précision de Ryan est compatible avec la méthode EV, comme on le voit sur l'exemple que donne Ryan du côté mathématique. Il explique que la bande de Mœbius est un objet émergent, en le sens qu'il vient de préciser, puisque la propriété que cette bande n'ait qu'une face est nouvelle par rapport à chacun de ses constituants, quand elle est présentée comme recolllements de triangles. De plus l'idée de Ryan peut aussi être rapprochée de la question de l'indécidabilité de la stabilité mécanique que nous évoquons plus haut, au paragraphe 2, à la façon de [Da Costa & Doria, 1991] ; il faudrait aller voir si cette indécidabilité ne pourrait pas s'expliquer par un changement drastique d'échelle, infranchissable par le calcul.

Suivant Rosen [Rosen, 1985] un système anticipatif contient un modèle prédictif de lui-même et de son environnement, qui lui permet de changer d'état à un instant t en accord avec le modèle prévu pour l'instant suivant $t+1$. Un système anticipatif est donc un système où les actions sont influencées par des espérances à propos du futur, des phénomènes anticipés. A ce titre d'ailleurs il semble que cette propriété d'anticipation ne soit pas nécessairement caractéristique des systèmes vivants [Dubois, 1998, 2000]. L'étude de la relation de l'anticipation avec la question des niveaux de réalité de Poli [Poli, 2001] vaut aussi bien pour l'anticipation biologique, l'anticipation sociologique ou l'anticipation psychologique, ces deux dernières étant particulièrement intéressantes si l'on considère le rapport de tension entre l'anticipation et les conflits [Poli, 2009]. Notons encore que l'anticipation peut être effectuée au moins dans deux orientations complémentaires : par prédictions de conséquences d'actions possibles, ou par estimations d'actions pouvant conduire à des résultats pris comme objectifs.

Dans la méthode EV, les co-régulateurs qui ne sont pas des objets mais des diagrammes d'objets qui sont donc des sous-systèmes du système S , fonctionnent de concert, et chacun choisit les modifications qu'il commandera en raison de l'état qu'il perçoit du système (le paysage (ou landscape) $L(t)$ à l'instant t considéré pour le co-régulateur CR en question). Un co-régulateur est d'abord un sous-système, et le paysage $L(t)$ est en gros une sous-catégorie de la catégorie des objets au-dessus du CR dans la catégorie complétée du système où le diagramme CR devient un objet ; il décrit donc, dirons-nous, au sens de la théorie catégorique de la forme, la manière dont la forme du CR est partiellement analysable par le système à un instant donné. On notera bien ce retournement ici qui consiste à penser à l'envers cette analyse possible comme ce que le CR connaît du système !. Le paysage $L(t)$ est considéré comme le référent formé pour le CR, comme une carte épistémique du système, au sens de R. Vallée [Vallée, 1986]. Il y a un foncteur de comparaison $L(t) \rightarrow S(t)$ entre le paysage et le système à l'instant t . Dans une deuxième phase, un CR doit sélectionner un objectif sur le paysage, et une procédure admissible pour réaliser cet objectif.

Les procédures visent à complexifier le système, par principalement ([Ehresmann & Vanbremeersch, 2007, p. 118]) absorption d'un graphe, élimination d'un diagramme, liage d'un diagramme (constitution d'une colimite). Dans la troisième phase, une fois choisie la procédure le CR peut « calculer » un paysage anticipé par CR pour le moment $t+d$, noté $AL(t+d)$, et on a un foncteur de comparaison $AL(t+d) \rightarrow L(t+d)$ (éventuellement partiel). On comprendra bien que ce « calcul » est « physique », qu'il demande le temps d , et que son résultat n'advient qu'à l'instant $t+d$. Si ce foncteur est un isomorphisme les objectifs seront

considérés comme réalisés (réalisables), et sinon, le fait que ce ne soit pas un isomorphisme indiquera que des erreurs ont eu lieu. Elles peuvent être dues au délai trop court, à l'intervention simultanée d'autres CR. Par exemple une limite peut n'avoir pas été construite parce que l'un de ses composants a été détruit par un autre CR, ou bien parce que cela demande plus de temps que le temps alloué. Si le foncteur de comparaison ne peut être formé pour cause de manque de procédure convenable ou pour cause de perturbation par une commande d'un CR de plus haut niveau ou de perturbations extérieures, on dira que le CR présente une *fracture*. A partir de cette notion, et notamment des délais de réparation des fractures, on peut analyser la dégénérescence du système.

Une question simple reste alors de savoir comment la décision de l'anticipation advient pour dire quelle opération le système va accomplir. Dans le système MES la manière matérielle dont la sélection de l'objectif et de la procédure est réalisée n'est pas spécifiée complètement par la méthode EV. Par exemple elle peut être aléatoire ([Ehresmann & Vanbremeersch, 2007, p. 194]). L'important dans la méthode EV est que ce qui détermine les choix vient de la mémoire qui informe le CR d'échec et succès antérieurs, et la procédure est par essais et erreurs. On peut envisager, sur la base de leur théorie des cat-neurones, de procéder à une implémentation effective du processus. On peut considérer comme un premier pas dans ce sens le travail de [Monteiro et al., 2008, 2009] où les cat-neurones sont mis en balance avec les modèles dynamiques de neurones comme ceux des équations de Hodgkin-Huxley ou le modèle récent de Izhikevitch [Izhikevitch, 2008].

Une variante serait d'imaginer que, via la mémoire nécessairement, le CR connaît un second paysage idéal $J(t)$, qu'il prend comme horizon à atteindre. Techniquement cela pourrait se modéliser par la donnée d'un morphisme de paysage $j(t) : J(t) \rightarrow L(t)$, et le choix de l'opération du CR serait alors guidé par la nécessité de forcer $j(t)$ à devenir un isomorphisme une fois transporté à l'étape $t+d$. On pourrait alors modéliser son calcul multivoque via les idées sur le diagramme localement libre et la présentation des algorithmes de [Guitart, 1986]. Ainsi seraient traitées en même temps la construction de $AL(t+d)$ et la construction partielle ou non de la comparaison $AL(t+d) \rightarrow L(t+d)$.

5- L'EMERGENCE ET L'OBSERVATION COHOMOLOGIQUE DU SENS ET DU NOUVEAU. Aristote écrit [Aristote, 1991, H, 1045 :8-10] : « Pour tout ce qui a pluralité de parties, et dont la totalité n'est pas comme une simple juxtaposition, mais dont le tout est autre chose que l'assemblage des parties, il y a une cause d'unité ». L'unité du tout est émergente du système des parties, et ainsi l'« émergence » est un très vieux problème. Comme nous l'avons exposé au paragraphe 4, l'idée moderne d'émergence de « nouveauté qualitative » commence avec Mill et Lewes. Elle est liée aujourd'hui à la question de la causalité rétrograde et de la complexité. Mais la principale difficulté avec la notion d'émergence réside dans la possibilité ou l'impossibilité de réduction scientifique des explications fournies à l'aide de l'« émergence ».

Nous posons que toute chose peut, en principe, être comprise d'une façon réductionniste, à partir d'une connaissance des parties *plus* une connaissance des comportements de chacune des parties et de comment ces parties interagissent. Le problème est de détenir le système d'interactions et dispositions relatives des parties suivant une perspective efficace. L'émergence d'une telle perspective est une émergence épistémologique d'une structure au-dessus de la situation initiale, et de la sorte nous avons besoin seulement d'émergence épistémologique (ou émergence de structures) afin d'expliquer scientifiquement l'ensemble des émergences. Cette position est semblable à celle d'une « émergence réductionniste » de la méthode EV (comme expliquée dans [Ehresmann & Vanbremeersch, 1993]).

Un exemple donné par Francis Crick (cité dans [Corning, 2002]) est le cas de la molécule de benzène qui est faite de six atomes de carbone arrangés en anneau hexagonal,

avec un atome d'hydrogène attaché à chacun. Elle a beaucoup de propriétés distinctives nouvelles (« nouvelles » relativement aux anciens critères), mais ces propriétés peuvent être expliquées en termes de mécanique quantique. D'où notre question : comment la mécanique quantique est-elle inventée et introduite dans notre système d'explications du benzène ?

Clairement à la fin nous avons une réduction scientifique des propriétés du benzène, par usage d'une extension cohérente de la théorie classique en cours des atomes, à savoir la théorie quantique. La perspective structurée efficace est celle où l'explication ultime peut être formulée en termes de dispositions et interactions de parties. Dans le cas du benzène ce n'est pas le niveau phénoménologique initial P de la formule ordinaire C_6H_6 , ni le second niveau E' de la structure plus déployée en formule spatiale hexagonale, mais c'est le niveau beaucoup plus structuré E d'une figuration quantique. Au niveau E les « parties » ne sont plus simplement les atomes classiques, et les dispositions et interactions sont plus sophistiquées. Nous devons finalement considérer la connaissance de la molécule de benzène comme un objet de E , lequel détermine un objet plus contracté dans E' et un autre dans P , qui est la version initiale C_6H_6 de la molécule de benzène.

Ainsi nous avons une séquence $E \rightarrow E' \rightarrow P$ de foncteurs d'oubli, élaborée à partir de P afin de produire un contexte E dans lequel les choses peuvent être expliquées, et où en particulier les recollements d'objets puissent être construits comme colimites. Dans le modelage, notre méthode réductionniste consiste, à partir d'un niveau phénoménologique P , à construire un niveau épistémologique E et un foncteur $U : E \rightarrow P$ au-dessus de P , de manière que les « constructions » dans P puissent être présentées comme des colimites dans E . Si B est un objet de E , on le considère comme une présentation ou un codage de l'objet $V(C) = B$ de P , et C est la partie visible ou accessible à l'observation de B .

Dans la méthode EV il y a un jeu sur la hiérarchie (e.g. les niveaux quantiques, atomiques, moléculaires) et une localisation dans la hiérarchie du niveau « élémentaire » (le niveau quantique, inclus dans les suivants et les engendrant) d'où se propage l'émergence ou qui par complexifications itérées et multiplicité va provoquer l'émergence [Ehresmann & Vanbremeersch, 2002]. Il s'agit là en quelque sorte dans le système au niveau de son évolution interne comme d'une image inversée de ce que nous proposons à l'extérieur du système au niveau épistémologique (où le quantique en la dernière étape de connaissance qui revêt les précédentes).

Dans la méthode EV encore, le système S est considéré comme étant le niveau épistémologique $E = S$, et aussi bien le niveau phénoménologique $P = S$, et les recollements sont effectivement des colimites (en fait c'est plus subtil, compte-tenu de la localisation hiérarchique de l'origine de l'émergence indiquée ci-dessus); nous supposons cela dans la définition ci-dessous des différentielles dA . Sinon, il serait nécessaire d'ajouter un niveau épistémologique $E \rightarrow E'$ au-dessus du niveau phénoménologique $S \rightarrow S'$, et de calculer les colimites dans E' . De plus, à la manière de nos observations au paragraphe 3, nous gardons en tête la nécessaire possibilité d'utiliser la forme $[J/X]$ d'un objet X de S à la place de l'objet X lui-même. Avec ces précautions il est possible, parmi d'autres constructions, d'inclure dans notre dispositif les recollements cohomologiques, limites homotopiques, etc.

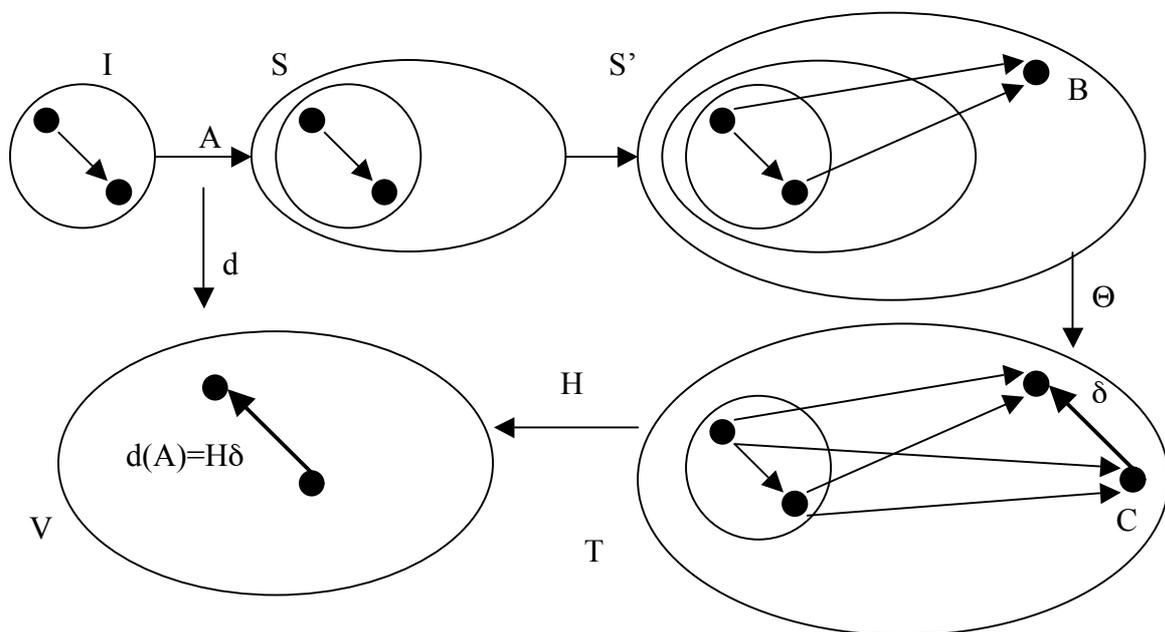
Nous voulons souligner ici une pratique de calcul possible pour l'émergence et l'anticipation, compatible bien sûr avec la méthode EV dont la proposition dérive, et compatible aussi avec de nombreuses approches de l'émergence, et notamment les idées de Rosen, de Ryan, de Fabre, du système $AMAS$ évoquées plus hauts. Aussi nous renvoyons aux considérations au paragraphes 1 sur la nouveauté propre ou différentielle interne dA d'un argument A , et la différentielle logique au sens de [Guitart, 2004] en liaison avec la cohomologie.

Empruntons d'abord à la méthode EV le départ suivant : un diagramme A indexé par I dans un système S se recolle dans un état élargi S' du système S en une limite inductive B .

Supposons ensuite que sur S' nous ayons un « trait » Θ associant à chaque objet X un type idéal $Y = \Theta X$ dans une catégorie de types T , puis sur cette catégorie T un foncteur dit d'homologie H à valeurs dans une catégorie de valeurs V . L'idée est que, pour Y un objet de T , HY garde de Y une information calculable sur son agencement interne propre au sens de T . Alors on considère la flèche $\delta : C \rightarrow \Theta B$ de comparaison entre la colimite C dans T (supposée exister) de l'image par Θ du diagramme A et l'image ΘB par Θ de la colimite B dans S' . De cette « différence » δ est ensuite calculable une part $H\delta = d(A)$. Ainsi est construit in fine un évaluateur d'émergence à savoir un foncteur de la catégorie S^I des I-diagrammes dans S vers la catégorie V^2 des flèches de V :

$$d : S^I \rightarrow V^2,$$

que nous appellerons une *différentielle*.



L'objet B sera dit faiblement émergent de A selon le trait $H\Theta$, ou selon d , si $d(A)$ n'est pas un isomorphisme ; on dira que B est strictement émergent ou bien qu'avec B émerge une nouveauté selon d si de plus pour tous les sous-diagrammes stricts A' de A on a que $d(A')$ est un isomorphisme. On dira aussi alors en bref et abusivement que B est nouveau selon d via A .

Et si l'information $d(A)$ peut être « récupérée » comme objet ou flèche dans le système S , alors est ainsi créée une boucle de rétroaction, pour l'anticipation éventuelle. Mais cela ne sera pas développé pour cette fois. Il faudrait l'associer à une donnée de « devenir » via les passés possibles $p(B)$ au sens du paragraphe 3.

On peut comprendre la donnée (H, Θ) comme une description précisée d'un « mécanisme observationnel » tel qu'indiqué dans [Baas, 1996]. Dans une version approfondie il faudrait ultérieurement discuter la possibilité que ce mécanisme fasse ou non partie du système ; on pourrait ne le considérer que comme une explication externe, mais en revanche intégrer au système l'opérateur achevé de « différentiation » noté ici d .

Ce à quoi l'on pense ici comme exemple c'est d'abord le cas où Θ est un foncteur vers une catégorie T de types d'homotopies et H un foncteur d'homologie vers une catégorie abélienne. Par exemple si l'on considère un *entrelac borroméen* B , assemblage d'un diagramme spécial de trois ronds, dans le monde S' de tous les entrelacs, qui tient trois ronds

ensemble, alors que deux par deux cela ne tient pas, et qu'aucun des ronds n'est noué, cet objet B est nouveau au sens que nous venons d'indiquer, il y a émergence ici d'une « tenue » qui n'était présente dans aucun sous-diagramme. On retrouve aussi l'exemple de Ryan que nous citons au paragraphe précédent de la *bande de Moebius* où émerge la propriété de non-orientabilité, qui se marque bien d'une différence du genre $d(A)$.

Comme exemple encore considérons l'analyse de Jacques Ricard [Ricard 2003a, 2003b, 2008] qui cherche à déterminer les caractéristiques de l'information dans les systèmes complexes en liaison avec la définition de la complexité et de l'émergence. Il considère un système $B = XY$ constitué de l'association de deux sous-systèmes X et Y, et suppose possible de définir des fonctions (numériques) $H(B) = H(X, Y)$, $H(X)$ et $H(Y)$ exprimant le nombre de degrés de liberté des systèmes, ou la richesse potentielle de ces systèmes, considérant qu'il y a émergence si l'on a l'inégalité stricte $H(X)+H(Y) < H(X,Y)$. C'est-à-dire que l'inégalité au sens large de $H(X)+H(Y)$ à $H(X, Y)$ joue le rôle de notre $\delta : C \rightarrow \Theta B$. Ensuite ce que fait Ricard se précise en construisant H en termes de probabilités comme une entropie, dans le cas de l'analyse d'une réaction enzymatique à deux substrats.

Bien sûr l'indécidable est une sorte de pure et radicale nouveauté. Aussi nous pensons à mettre dans notre schéma les idées sur l'indécidabilité par complexité trop élevée évoquée au paragraphe 2, où le rôle de notre $d(A)$ serait joué par la mesure de complexité $\delta_g(x)$ de [Calude & Jürgensen, 2005, th.4.6.].

Et puis l'idée de la différentielle dA renvoie à ce que, en plus délimité, nous avons explicité comme calcul de différentielle logique dans [Guitart, 2004]. Si B est un énoncé et A une spéculation qui le fait tenir, alors la différentielle logique dA de A est comme ce qui livre le sens paradoxal de B.

Andrée Ehresmann nous signale une autre application de ce calcul, suivant une manière de faire un peu esquissée dans la méthode EV pour calculer la force d'une fracture. Si l'on y prend pour S un paysage $L(t)$ et pour S' le paysage anticipé suivant $AL(t+d)$, avec entre $AL(t+d)$ et le 'vrai' paysage suivant $L(t+d)$ le foncteur de comparaison, alors $d(A)$ mesure l'erreur dans la réalisation de A (avec pour H un foncteur associant à une flèche son poids).

Dans cette approche on profite au mieux de l'un des points forts très important de la méthode EV, à savoir le fait qu'elle permette de comprendre et de traiter du fait qu'un objet B n'est pas nécessairement identique à soi, que l'identité en général à un niveau élevé, disons l'identité sur B, ne soit pas réductible à des identités élémentaires des constituants, du moins tant que la constitution de B n'a pas été canonisée dans un format préféré. Chez Ehresmann et Vanbremeersch, il s'agit de la distinction entre les liens simples entre A et B (ceux qui viennent par collecte des liens entre les diagrammes dont A et B sont des colimites), et les liens complexes (e.g. les composés de liens simples, qui ne sont pas simples en général). En effet un objet B peut être obtenu comme colimite de plusieurs façons non comparables, et alors l'identité est un lien complexe de B à B.

Dans le schématisme ci-dessus cela donnera lieu, pour un même objet B à différents A, A', puis différents objets C, C', δ , δ' , etc, et enfin différents $d(A)$, $d(A')$. Ainsi le fait que B soit nouveau ou non selon d dépend en fait de la spécification de A. On dira donc mieux en disant que B *est nouveau* s'il existe un A par lequel B est nouveau pour d via A. La nouveauté de B est donc à construire comme une catégorie $\underline{\text{Nov}}(B)$ dont les objets soient les $(A, (H, \Theta))$ tels que $d(A)$ ne soit pas un isomorphisme mais que cela soit faux pour les sous-diagrammes de A. Mais en réalité une reprise plus axiomatique des différentielles que nous avons construites ici, devrait conduire à une approche plus directe, où seraient fournies directement axiomatiquement, sans constructions, les différentielles d.

6- CONCLUSION. Notre technique discursive ici a donc été de croiser trois registres : théorie des catégories et de la cohomologie, analyse de discours, théorie du vivant. D'une part en partant de nos propositions passées pour le sens en relation aux assemblages de vérités, et puis en revenant sur l'histoire de la détermination de ces trois registres, et d'autre part surtout en reprenant et développant les idées d'Ehresmann et Vanbremeersch, notamment sur la place de l'émergence et la fracture, et sur la manière dont ces thèmes sont modélisables en termes de théorie des catégories. La théorie des MES montre le vivant comme homologue à un calcul catégoricien. Elle nous permet donc d'espérer que le calcul cohomologique du sens soit possible et reflète in fine le sens comme un calcul vivant. Un tel calcul, qui resterait 'non-compositionnel' et non-réductionniste, serait non pas un simple calcul pour les sciences du sens mais serait proprement homologue au sens.

Pour en revenir vraiment aux discours d'un point de vue technique détaillé, cela sera à faire plus tard. Nous avons vu seulement l'intrication théorique des discours, des catégories et mathématiques, et des systèmes vivants. Nous comprenons par exemple qu'en considérant un discours comme une catégorie, et plus précisément comme un MES, alors à partir d'un élément B d'un discours on pourra envisager la construction de la « nouveauté » de cet élément (à savoir $\text{Nov}(B)$), et considérer donc cette nouveauté comme valeur de sens en cours de fabrication pour le discours. Bien sûr, puisqu'elle présente « toute » la nouveauté, complètement *et* ouvertement, la catégorie $\text{Nov}(B)$ est proprement démesurée, et chaque mise en œuvre particulière effective demandera une clôture, une délimitation spécifique très restrictive au sein de $\text{Nov}(B)$, notée $\text{Nov}_\omega(B)$, que l'on pourra considérer comme la limitation à la compréhension d'un observateur ω . Ensuite il faudra établir la tension entre la différence « d » (*cf.* paragraphe 5) et un « devenir » comme réciproque des passés possibles « p » (*cf.* paragraphe 3).

Dans le passé, notre idée de différentielle logique permettait d'exposer un sens translogique, lié à la paradoxalité logique constitutive des discours. Mais maintenant ici, grâce au passage à travers les traits caractéristiques du vivant (complexité, stabilité instable, changement d'échelle et évolution, émergence de nouveauté, auto-régulation, imprévisibilité ou indécidabilité) nous avons pu, supposant que le discours aussi était un système vivant, en appui sur le traitement catégorique de ces traits par la théorie d'Andrée Ehresmann et Jean-Paul Vanbremeersch, donné une portée bien plus large à l'usage des différentielles, à l'idée que nous voulons soutenir que la « différence à soi » est la source du sens de ce que l'on dit.

REFERENCES

Aczel, P. (1988), *Non-well-founded Sets*, Stanford: CSLI.

Allen, T. F. (2006), *A summary of the principles of hierarchy theory*, <http://www.iss.org/hierarchy.htm>

[Alexander, S. (1920), *Space, Time, and Deity*, vol.1 and vol.2, MacMillan, London,.

Ali, S. M. & R. M. Zimmer, R. M. (1997), The question concerning emergence, in CASYS'97, Abstract Book, *First International Conference on Computing Anticipatory Systems*, CHAOS asbl.

Aristote (1991), *Métaphysique*, tome 2, Livres H-N, Vrin.

Baas, N. A. (1996), Thoughts on higher order structures, Symposium ECHO, Amiens 1996, pp. 47-52.

Bada J. L. & Lazcano A. (2003) Prebiotic Soup Revisiting the Miller Experiment, *Science* vol 300, 2 may 2003, pp. 745-746.

Baianu, I. C. (2006), Robert Rosen's work and complex systems biology, *Axiomathes* 16 :25-34.

- Baianu, I. C. (2007), Categorical Ontology of levels and Emergent Complexity : An Introduction, *Axiomathes* 17 :209-222.
- Baianu, I. C. & Marinescu, M. (1974), 'A Functorial Construction of (M, R) Systems', *Revue Roumaine de Mathématiques Pures et Appliquées* 19 (4), 388-391.
- Baianu, I. C. Brown, R. Georgescu, G. & Glazebrook, J. F. (2006), 'Complex Nonlinear Biodynamics in Categories, Higher Dimensional Algebra and Łukasiewicz-Moisil Topos: Transformations of Neuronal, Genetic and Neoplastic Networks', *Axiomathes* 16 :65-122
- Barbin, E. (2003) Les deux faces du théorème de Kleene et la question des machines, in J. Boniface ed., *Calculs et formes*, (Actes du Colloque "Mathématiques : calculs et formes", Université Toulouse Le Mirail, septembre 2000), Ellipses, pp. 24-52.
- Barrow, J. D. (2006), Gödel and Physics, Horizons of Truth, Kurt Gödel Centenary. Meeting, Vienna April 27-29 (2006), <http://arxiv.org/pdf/physics/0612253.pdf>
- Bar-Yam, Y. (1997), *Dynamics of Complex Systems*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Bar-Yam, Y. (2004), A mathematical theory of strong emergence using multiscale variety. *Complexity*, 9(6):15-24.
- Bichat, X. (1962), *Recherche physiologiques sur la vie et la mort*, (1800), Alliance culturelle du livre, Genève-Paris-Bruxelles.
- Blitz, D. (1992), *Emergent Evolution : Qualitative Novelty and the Levels of Reality*, Kluwer.
- Bonabeau, E., Dorigo, M. & G. Theraulaz, G. (1999), *Swarm Intelligence*, Oxford Univ. Press.
- Boschetti, F. (2005), *CSIRO emergence interaction task*, http://www.per.marine.csiro.au/staff/Fabio.Boschetti/CSS_emergence.htm
- Broad, C. D. (1925), *The mind and its place in nature*, London, Kegan Paul.
- Calude, C. S. & Jürgensen, H. (2005), Is Complexity a Source of Incompleteness ?, *Advances in Applied Mathematics* 35, pp. 1-15.
- Capera, D., Georgé, J. P., Gleizes M.-P. & Glize, P. (2003), Emergence of organisations, emergence of functions, In *AISSB'03 symposium on Adaptive Agents and Multi-Agent Systems*, pp 103 – 108, D. Kudenko, D. Kazakov, and E. Alonso (Eds), University of Wales, Aberystwyth.
- Cello, J., Paul, A. V. & Wimmer E., Chemical Synthesis of Poliovirus cDNA : generation of Infectious Virus in the Absence of Natural Template, *Science*, 9 August 2002, vol. 297, n05583, pp. 1016-1018.
- Chatin, G. (1982), Gödel's Theorem and Information, *Int. J. Theoretical Physics* 21n pp. 941-954.
- Chauviré, C. (2008), *L'œil mathématique . Essai sur la philosophie mathématique de Peirce*, Kimé.
- Chemero, A. & Turvey, M. (2006), Complexity and « Closure to Efficient Cause », *Proc. Of AlifeX : Workshop on Artificial Autonomy*, K. Ruiz-Mirazo and R. Barandiaran (eds.).
- Clot, Y. (2001), Bakhtine, Vygotsky et le travail, *Martin Media Travailler*, 2 n°6, pp. 9-12.
- Corning, P. A. (2002), The re-emergence of « emergence » : a venerable concept in search of a theory, *Complexity* 7 (6) :18-30 Website : www.complexsystems.org
- Da Costa, N. C. A. & Doria F. A. (1991), Undecidability and incompleteness in classical mechanics, *Internat. J. Theoret. Phys.* 30, n°8, 1041-1073.
- Davidson, D. (1993), « Mental Events », in Davidson (1980), *Essays on Actions and Events*, trad. P. Engels, Actions et événements, Paris, PUF.
- Delahaye, J.-P. (2009), Presque tout est indécidable !, *Pour la Science*, janvier 2009, n°375, p. 88-93.
- Dubois, D. M. (1998), Computing Anticipatory Systems with Incursion and Hyperincursion, in *Computing Anticipatory Systems : CASYS – First International Conference*, American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings 437, pp. 3-29.

- Dubois, D. M. (2000), Review of incursive, hyper-incursive and anticipatory systems-foundation of anticipation in *Electromagnetism, AIP-conf. Proc.* May 26, vol. 517, pp.3-30.
- Ehresmann, A (Bastiani, A). (1963), Systèmes guidables et problèmes d'optimisation, Laboratoire d'Automatique Théorique I (nov. 1963), Faculté des Sciences, Caen.
- Ehresmann, A (Bastiani, A). (1964), Systèmes guidables et problèmes d'optimisation, Laboratoire d'Automatique Théorique II (juin 1964), Faculté des Sciences, Caen.
- Ehresmann, A (Bastiani, A). (1965), Systèmes guidables et problèmes d'optimisation, Laboratoire d'Automatique Théorique III (juillet 1965), Compléments et erratums (déc. 1965), Faculté des Sciences, Caen.
- Ehresmann, A. (2008), From Schwartz distributions to control and evolutive systems, *International Category Theory Conference 2008*, Calais, France, June 22-28, 2008.
- Ehresmann, C. (1968), Esquisses et types de structures algébriques, *Bul. Inst. Pol. Din Iasi*, serie nouaa, t. XIV (XVIII), fasc. 1-2, 1968. Reprint in *Charles Ehresmann Œuvres complètes et commentées, Esquisses et complétions, partie IV 1*, éditée et commentée par Andrée Charles Ehresmann, Amiens 1981.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1987), Hierarchical evolutive systems : a mathematical model for complex systems, *Bull. Math. Bio.* 49 (1), 13-50.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1990), Hierarchical Evolutive Systems, in Manikopoulos (ed.), *Proceedings of 8th International Conference of Cybernetics and Systems*, Newark: The NIJT Press, pp. 320–327, New York, Vol. 1.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1992 a), Semantics and Communication for memory Evolutive Systems, *6th International Conference on Systems research, Informatic and Cybernetics, Baden-Baden*.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1992 b), Outils mathématiques pour modéliser les systèmes complexes, *Cahiers Top. Géo. Diff. Cat.* XXXIII,3, p. 225-236.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1993), Emergent Properties for Complexes Systems, *Intersymp '93 Focus Symposium on Emergence*, Baden-Baden 1993, 7p.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1996), 'Multiplicity Principle and Emergence in MES', *Journal of Systems Analysis, Modelling, Simulation* 26, 81–117.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (1999), <http://perso.wanadoo.fr/vbm-ehr>.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (2002), 'Emergence Processes up to Consciousness Using the Multiplicity Principle and Quantum Physics', *A.I.P. Conference Proceedings (CASYS, 2001, Ed. D. Dubois)* 627, 221–233.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (2006), The Memory Evolutive Systems as a model of Rosen's organisms – (Metabolic, Replication) systems, *Axiomathes* 16 :137-154.
- Ehresmann, A. C. & Vanbremeersch, J.-P. (2007), *Memory Evolutive Systems. Hierarchy, Emergence, Cognition*, Elsevier.
- Eberhart, R & Kennedy, J. (2001), *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Acad. Press.
- Ehrig, H. & Kreowski, H.-J. (1974), Power and initial automata in pseudocategories, in *Category Theory for Computation and Control* (Proc. Of the 1st International Symp., U. Mass. Amherst, E. G. Manes, Ed.), pp, 162-169.
- Fabre, F. (2005), Emergence et représentation, <http://www.dblogos.net/er/ER.pdf> V2.0 r07, 212 p.
- Føessel, M. (2007), Paul Ricœur ou les puissances de l'imaginaire, introduction in *Ricœur Textes choisis et présentés par Michaël Føessel et Fabien Lamouche*, coll. Bibliothèque Essais, n°576, éd. Points, p. 7-22.
- Goldstein, J. (1999), Emergence as a Construct : History and issues - *Emergence* Volume1, Issue1, pp49-71.
- Goguen, A. (1971), Systems and minimal realization, *IEEE Conf. On Decision and Control*, Miami Beach.

- Guitart, R. (1978), Des machines aux bimodules, 1978, texte n°30 in « Logiques, relations et structures dans les catégories », 2 vol., *Thèse d'Etat, Université d'Amiens, 8 juin 1979.* <http://pagesperso-orange.fr/rene.guitart/textespublications/rg30.pdf>
- Guitart, R. (1980), Relations et carrés exacts, *Ann. Sc. Math. Qué.*, juillet 1980, vol. IV, N°2, p. 103-125.
- Guitart, R. (1986), On the geometry of computations, *Cahiers Top. Géo. Diff. Cat.* XXVII,4, p. 107-137.
- Guitart, R. (1994), L'idée de Logique Spéculaire, *Journées Catégories, Algèbres, Esquisses, Néo-esquisses*, Caen, 27-30 septembre 1994, 6 p.
- Guitart, R. (2003), Calcul d'assimilations, modalités et analyse d'images, in J. Boniface ed., *Calculs et formes*, (Actes du Colloque "Mathématiques : calculs et formes", Université Toulouse Le Mirail, septembre 2000), Ellipses, pp. 175-89.
- Guitart, R. (2004), Théorie cohomologique du sens, SIC, Amiens, 8 novembre 2003, *compte-rendu 2004-10/Mars 2004, LAMFA CNRS UMR 6140, 39-47.* (version allongée à 22 pages, le 9 /02/2004 <http://pagesperso-orange.fr/rene.guitart/textespublications/guitart04tcds.pdf>).
- Guitart, R. (2005a), La structuration catégoricienne comme calcul des gestes mathématiques, 13 octobre 2005, in *Journées Aspects historiques et philosophiques de la théorie des catégories*, ENS octobre 2005, <http://www.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=934>
- Guitart, R. (2005b), Le sens d'un discours comme mouvement de confusion entre identité et identitaire, *Colloque Origine(s), Identité(s), Identification(s)* AECF Lille, 15-16 octobre 2005.
- Guitart, R. (2008), Pour une modélisation qualitative en termes de catégories, Preprint, <http://pagesperso-orange.fr/rene.guitart/textespreprints/guitart08modelcat.pdf>, à paraître in *Revue de Synthèse*.
- Haldane, J. B. S. (1929), The Origin of Life, *Rationalist Annual*, reprint in: J.B.S. Haldane, *On Being the Right Size and other essays*, Oxford University Press, 1991.
- Huxley, T. (1868), On the physical basis of life, *Fortnightly Review* 5 (n.s.) (1868): 129-45. in *Collected Essays (1893-1894), vol. I*, 130-165. <http://aleph0.clarku.edu/huxley/CE1/PhysB.html>
- Izhikevitch, E. M. (2007), *Dynamical Systems in Neuroscience: The geometry of Excitability and Bursting*. The MIT Press – Cambridge, MA-USA; London, England
- Joyce, G. F. (1992), Directed Molecular Evolution, *Scientific American*, vol. 267, n°6, pp. 90-97.
- Kahane, E. (1962), *La vie n'existe pas*, Editions Rationalistes.
- Kainen, P. C. (1971), Weak adjoint functors, *Math. Zeit.*, 122 1-9.
- Kainen, P. C. (2005), Category Theory and living systems, *Charles Ehresmann centennial*, Amiens, October 7-9, 2005.
- Kauffman, S. (1993), *The Origins of Order : Self-organization and selection in evolution*, Oxford University press.
- Keller, E. F. (1999), *Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie*, Institut Synthélabo.
- Lewes, G. H. (1875), *Problems of Life and Mind (First Series) vol.2*, Trübner.
- Maurel, M.-C. (2003), *La Naissance de la Vie*. De l'évolution prébiotique à l'évolution biologique, Paris, Dunod.
- Mayr, E. (1970), *Populations, species and evolution*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Mill, J. S. (1843), *A System of Logic, ratiocinative and inductive* (1843), 8th ed., Harper & Brothers, Franklin Square, 1882, <http://www.gutenberg.org/etext/27942>
- Miller, S. L. (1953), A production, of amino acids under possible primitive earth conditions, *Science*, 117, 528-529.

- Minsky, M. (1988), *The Society of Mind*, Simon & Shuster.
- Monod, J. (1970), *Le hasard et la nécessité*, Seuil.
- Monteiro, J.L. do R.; Kogler Junior, J. E. ; Ribeiro, J.H.R.; Netto, M.L. (2008), On the Requirements for Simulating a Memory Evolutive System. In: *Workshop on Brain Inspired Cognitive Systems - BICS, 2008*. São Luiz, Maranhão.
- Monteiro, J.L.R., Kogler Jr., J.E., Ribeiro, J.H.R. and Netto, M.L. (2009), On Building a Memory Evolutive System for Application to Learning and Cognition Modeling; in *Brain Inspired Cognitive Systems*, edited by Cutsuridis, V., Hussain, A., Barros, A.K. and Aleksander, I., Springer.
- Morgan, C. L. (1923), *Emergent Evolution*, Williams and Norgate, London.
- Morgan, C. L. (1926), *Life, Mind and Spirit*. Williams and Norgate, London.
- Morgan, C. L. (1933), *The Emergence of Novelty*. Henry Holt and Co., New York.
- Morange, M. (2002), Qu'est-ce que la vie ? in Colloque « Exobiologie, aspect historiques et épistémologiques » 15 mai 2001, *Cahiers François Viète* n°4, p. 9-22.
- Morange, M. (2003), *La vie expliquée ? 50 ans après la double-hélice*, Odile Jacob.
- Nageotte, J. (1922), *L'organisation de la matière dans ses rapports avec la vie. Etudes d'anatomie générale et de morphologie expérimentale sur le tissu conjonctif et le nerf*, Alcan.
- Obtulowicz, A. (2007), Multigraphical Membrane Systems : a Visual Formalism for Modeling Complex Systems in Biology and Evolving Neural Networks, Proc. 8th *Workshop on Membrane Computing*, Thessaloniki, June 25 - June 28, 2007 pod redakcją G. Elftirakisa et al., South-European Research Center, 509-512. http://www.seerc.org/wmc8/proceedings_web/pages509-512.pdf
- Oparin, A. I. (1924), *The Origin of Life*, Proiskhozhdenie zhizny, Moscow, Trad. Ann Synge in : John Desmond Bernal: *The Origin of Life*, Weidenfeld and Nicholson, London, 1967.
- Paum, G. (2000), Computing with membranes, *Journal of Computer and System Sciences* 61, pp. 108-143.
- Pichot, A. (1993), *Histoire de la notion de vie*, Gallimard.
- Poli, R. (2001), The Basic Problem of the Theory of Levels of Reality, *Axiomathes*, 12 (3-4), 261-283.
- Poli, R. (2009), Anticipation and Conflicts. Presented at the *conference Understanding Conflicts*, Aarhus.
- Rashevsky, N. (1954), Topology and life : in search of general mathematical principles in biology and sociology, *Bull. Math. Biophys.* 16 :317-348.
- Rashevsky, N. (1967), Organismic sets and biological epimorphism, *Bull. Math. Biophys.* 29:389-393.
- Ricard, J. (2003a), What do we mean by biological complexity ? Qu'entendons-nous par complexité biologique ? *C.R. Biologies* 326 (2003) 133-140.
- Ricard, J. (2003b), *Complexité, émergence, information et causalité dans les systèmes biologiques*, 13 p. <http://www.asmp.fr/travaux/gpw/philosc/rapport3/2ricard.pdf>
- Ricard, J. (2008), *Pourquoi le Tout est plus que la somme de ses parties Pour une approche scientifique de l'Émergence*, Hermann.
- Ricœur, P. (1986), L'imagination dans le discours et dans l'action, in *Du texte à l'action Essais d'herméneutique II*, coll. Essais Points n° 377, Seuil, p. 237-262.
- Rosen, R. (1958), The representation of biological systems from the standpoint of the theory of categories, *Bull. Math. Biophys.* 20, 245-260.
- Rosen, R. (1985), *Anticipatory Systems*, Pergamon Press.
- Rosen, R. (1986), *Theoretical Biology and Complexity*, Acad. Press.
- Rosen, R. (1991), *Life itself*, Columbia University Press.

- Ryan, A. (2007), Emergence is coupled to scope, not to level, *Complexity*, vol. 13, Issue 2, 67-77. Voir aussi : <http://arxiv.org/abs/nlin/0609011v1>
- Salanskis, J.-M. (2007), L'herméneutique, le sens, le savoir, Colloque "Figures de l'herméneutique", EHESS novembre 2007, <http://jmsalanskis.free.fr/IMG/html/HermSensSav.html>
- Schrödinger, E. (1944), *What is Life ? Mind and Matter*, Cambridge U. P.
- Schoffeniels, E. (1973), *L'anti-hasard*, Gauthier-Villars.
- Sellars, R. W. (1922), *Evolutionary Naturalism*, Chicago, Open Court. <http://www.ditext.com/rwsellars/bib-rws.html>
- Simondon, G. (1964), *L'individu et sa genèse physico-biologique*, PUF, Paris.
- Sinding, C. (1993), les métaphore en biologie : analogies ou outils de pensée ?, *Intellectica*, 1993/1, n°16, *Biologie et Cognition* ; pp. 85-89.
- Stanford Encycl. Phil. (2006), *Emergent Properties*, revision Mon oct 23, 2006, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/properties-emergent/>
- Tirard, S. (1997), *Les travaux sur l'origine de la vie de la fin du dix-neuvième siècle jusqu'aux années 1970*, ANRT, Thèse à la carte, 25 avril 1997.
- Tirard, S. (2000), Les origines de la vie : un problème, des disciplines, *ASTER* 2000, n°30, INRP, p.105-122.
- Tirard, S. (2008a), Définir la vie : une nécessité pour définir les origines de la vie ?, conférence au Centre François Viète, Nantes, 30 septembre 2008.
- Tirard, S. (2008b), Defining Life, From Buffon to Oparin", to appear in *Orig Life Evol Biosph*, Special Issue.
- Vallée, R. (1986), Subjectivité et systèmes. In : *Perspectives systémiques, Actes du Colloque de Cerisy* (B. Paulré, Ed.) *L'Interdisciplinaire*, Limonest, 44-53.
- Van Lier, H. (2006), L'individuation selon Gilbert Simondon, http://henrivanlier.com/anthropogenie_locale/ontologie/simondon.pdf
- Varela, F. (1979), *Principle of biological autonomy*, North-Holland Elsevier.
- Vassort, L. et M., (1949), *Le Calcul Vivant, CEI*, Hachette, Paris.
- Vygotski, L. S. (1934), *Pensée et langage* (1934), trad. F. Sève, édition La Dispute.
- Zwirn, H. P. (2006), *Les systèmes complexes. Mathématiques et biologie*, Odile Jacob.