

BULLETIN N° 115
ACADÉMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 15 mai 2007

Conférence du Pr. Gilles COHEN-TANNOUJJI
Emergence et Stratégies des Théories effectives

Prochaine séance : le Mardi 12 juin 2007

Conférence de Philippe HUNEMAN de l'IHPST :
Concept formel d'émergence, causalité et transitions évolutives

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Michel GONDRAN
SECRETARE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL
CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUJJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen René DARS
PRESIDENT DE LA SECTION DE NANCY : Pierre NABET

PRESIDENT FONDATEUR
DOCTEUR Lucien LEVY (†).
PRESIDENT D'HONNEUR
 Gilbert BELAUBRE
SECRETARE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS

Mai 2007

N°115

TABLE DES MATIERES

P. 3 Compte-rendu de la séance du 15 mai 2007

P. 7 Annonce par notre Collègue le Pr. Gabriele LOSA du cinquième symposium international sur « Les fractales en Biologie et Médecine » à Locarno du 12 au 15 mars 2008

P.11 Documents

Prochaine séance : Mardi 12 juin 2007,
 MSH, salle 215-18heures
Conférence de Philippe HUNEMAN de l'IHPST :
Concept formel d'émergence, causalité et transitions évolutives

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
 Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du
Mardi 15 mai 2007

Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, salle 215, à 18h.

La séance est ouverte à 18 h. 00 en la présence de nos collègues Valérie LEFEVRE, Alain CARDON, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Jean-Pierre FRANCOISE, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS, Victor MASTRANGELO, Emmanuel NUNEZ, Alain STAHL, Michel GONDRAN et de Philippe HUNEMAN.

Etaient excusés : Irène HERPE-LITWIN, Gilbert BELAUBRE, Michel BERREBY, Bruno BLONDEL, Françoise DUTHEIL, Marie-Louise LABAT, Pierre SIMON,

Informations Générales

Notre collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI nous fait un rapide compte rendu de la très intéressante journée sur la « Plasticité » qu'il a organisée à la BNF le 28 Mars 2007 , avec notre nouvelle collègue Valérie LEFEVRE et le groupe « Physique et Interrogations Fondamentales » de la Société Française de Physique .

Il propose un partenariat entre l'AEIS et « Physique et Interrogations Fondamentales » pour de prochains colloques, en particulier celui sur « l'Emergence » prévu par l'AEIS et celui sur « Simulation et Expérimentation » prévu par « Physique et Interrogations Fondamentales » .

Une réunion de coordination est décidée pour le 5 Juin 2007.

Prévoir ces colloques en fin d'année 2008.

« Emergence et Stratégies des Théories effectives » par notre collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI

Classiquement, on considère que l'on a, en physique, trois constantes universelles : c la vitesse de la lumière, h la constante de Planck qui a la dimension d'une action, produit d'une énergie par un temps, et G la constante de la gravitation.

Ces constantes peuvent être interprétées soit comme des paramètres, soit comme des conversions entre les trois unités (masse, longueur, temps), soit comme des limitations :

c comme la vitesse limite, h comme l'incertitude minimale sur le produit Energie* temps, G contribuant à définir le rayon minimal de Schwarzschild.

La Relativité Générale est basée sur c et G ; elle correspond à l'étude de la Matière-Espace- Temps.

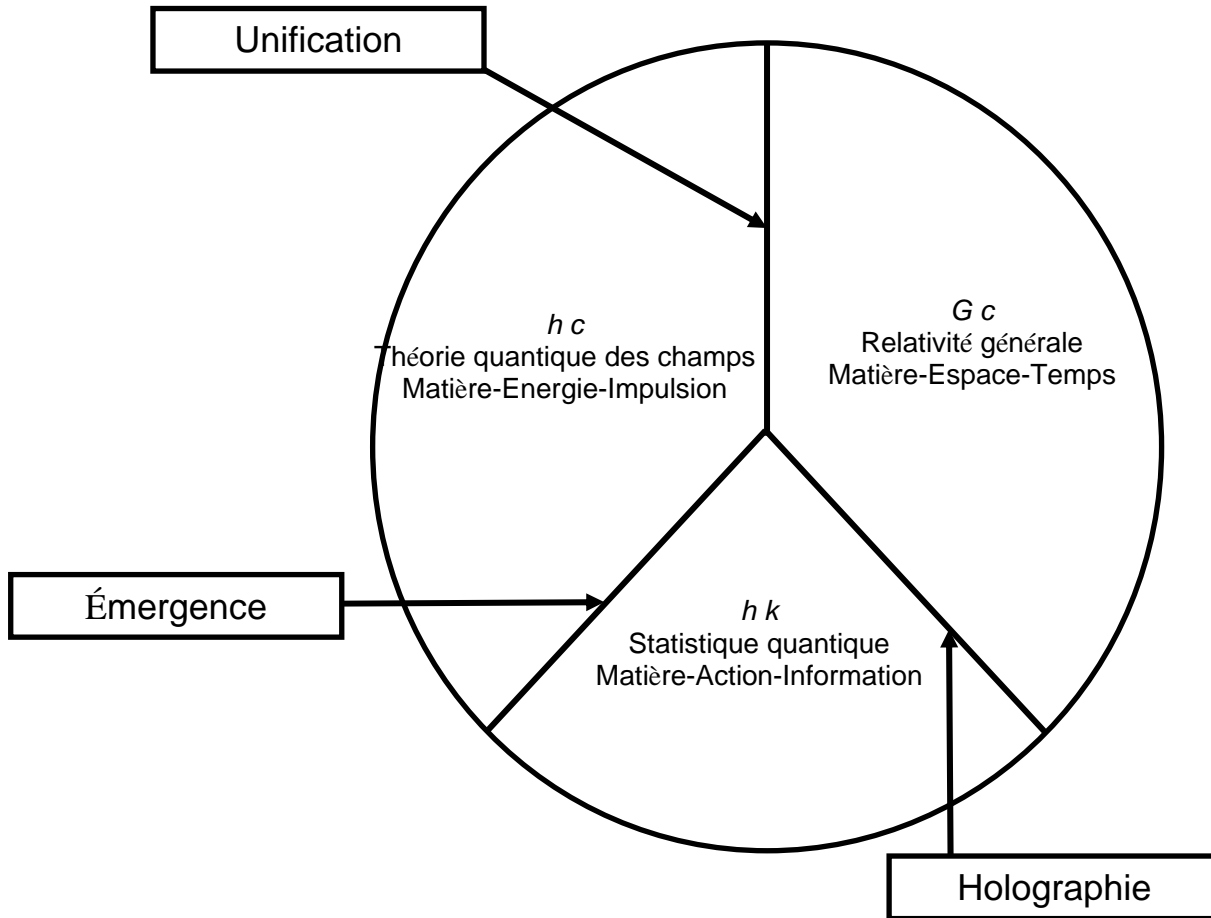
La Théorie Quantique des Champs est basée sur h et c ; elle correspond à l'étude de la Matière-Energie-Impulsion.

La Gravitation Quantique ou « Théorie du tout » avec les trois constantes restent encore à bâtir.

Gilles COHEN-TANNOUJJI pense qu'il faut considérer une quatrième constante fondamentale, k la constante de Boltzmann. Elle permet d'introduire l'information avec le coût en négentropie d'un bit d'information.

La Statistique Quantique est basée sur h et k ; elle correspond à l'étude de la Matière-Action-Information. Habituellement, elle n'est pas considérée comme faisant partie de la physique fondamentale. La constante de Boltzmann n'est alors considérée que comme un simple facteur de conversion entre énergie et température.

Gilles nous propose alors le tableau suivant permettant de visualiser les trois théories actuelles existantes à deux constantes fondamentales, la Relativité Générale, la Théorie Quantique des Champs, la Statistique Quantique et leurs interactions.



L'interaction entre Relativité Générale et la Théorie Quantique des Champs correspond à la grande **unification**, le passage de la Théorie Quantique des Champs à la Statistique Quantique se fait par **émergence** et est donc au cœur de notre projet de colloque. L'interaction entre Relativité Générale et la Statistique Quantique semble correspondre à un phénomène de **holographie**, ou toute l'information est sur la surface de l'horizon cosmologique.

En dehors de l'émergence liée au passage de la Théorie Quantique des Champs (TQC) à la Statistique Quantique, on retrouve l'émergence au cœur de la TQC. En effet, les théories de la TQC sont basées sur des développements perturbatifs dont émergent, après renormalisation, des théories effectives.

C'est aussi le point de vue développé par Robert LAUGHLIN, Prix Nobel 1998 pour l'effet Hall quantique fractionnaire, dans son dernier livre « Un univers différent », Fayard 2005, cf. La Recherche (n° 405- Février 2007) et l'article de Michel BITBOL dans le bulletin n° 111. Pour lui, il n'existe pas de théories globales pour les particules élémentaires ; toutes les théories sont émergentes comme dans les théories de la matière condensée.

Nombreuses questions sur cet exposé si riche et si stimulant : sur la renormalisation et les modèles et paramètres qui dépendent de la résolution ; sur l'existence d'une structure discrète de l'espace-temps ; sur le rôle des nanotechnologies qui sont à l'interface entre Théorie Quantique des Champs et la Statistique Quantique.

La séance est levée à 20 heures.

Fifth International Symposium *

Fractals in Biology and Medicine

Main Theme

*Morphogenesis and structural-functional organization
of normal and pathologic tissues*

March 12-15, 2008

Locarno Switzerland

* In memory of **Prof. Jean Paul Rigaut** friend and colleague Paris

Reasons for holding the Fifth International Symposium < **Fractals in Biology and Medicine** >

1988-2008 Twentieth anniversary of the first Meeting on Fractal Geometry held at the High School of Locarno (Liceo Cantonale), Southern Switzerland. This event was strongly supported by **Professor Jean Paul Rigaut**, University of Paris VII. Since the beginning of eighties, Professor Rigaut actively contributed to the introduction and development of Fractal Geometry principles to Biology and Medicine, in particular by developing the concept of “**asymptotic fractal**” (**semi-fractal**) as well as numerous contributions in the area of “**biological image analysis**”.

Professor Rigaut, sadly, passed away after a long standing illness in April 2005. The Fifth International Symposium < **Fractals in Biology and Medicine** >, to be held on March 2008, will be dedicated to his memory, in acknowledgement to his remarkable scientific career, to his exquisite friendship and humanity.

Reference: Rigaut J.P. Fractals in biological image analysis and vision. In: *Gli oggetti frattali in astrofisica, biologia, fisica e matematica* [G.A. Losa, D. Merlini Eds.] vol. **3**, 1989. Edizioni Cerfim, Locarno Switzerland.

1978-2008 Thirtieth anniversary of the first international study on Fractal Geometry applied to cell biology (based on a pioneering idea of Ewald R. Weibel), conducted by Dagmar Paumgartner (†), Gabriele A. Losa and Ewald R. Weibel at the Center for Cellular Biology of the Institute of Anatomy, University of Berne, directed by **Professor Ewald R. Weibel**.

Reference: Paumgartner D., Losa G.A., Weibel E.R. Resolution effect on the stereological estimation of surface and volume and its interpretation in terms of fractal dimensions. *J Microscopy* **121**, 51, 1981.

1988-2008 Twentieth anniversary of the scientific collaboration with **Professor Theo F. Nonnenmacher** and his colleagues at the Department of Mathematical Physics, University of Ulm, Germany. These activities started with a research project “*Fractal analysis of human lymphocytes and leukemic cells*” and was supported by the Swiss National Science Foundation, Berne.

Reference: Losa G.A., Baumann G., Nonnenmacher T.F. The fractal dimension of pericellular membranes in human lymphocytes and lymphoblastic leukemic cells. *Pathology Research and Practice* **188**, 680,1992.

1983-2008 Twenty-fifth anniversary of the first edition of the book

< *The Fractal Geometry of Nature* >

by *Benoît Mandelbrot*

San Francisco, Freeman

1993-2008 Fifteenth anniversary of the First Symposium

***FRACTALS IN BIOLOGY AND MEDICINE ***

held at the Centro Seminariale Monte Verità, Ascona,

in presence of *Professor Benoît Mandelbrot*

Professor Mandelbrot also took part in these Symposia in 2000 and in 2004 in occasion of his eightieth birthday.

Reference: *Fractals in Biology and Medicine*, Vol. I, II, III, IV.

G.A. Losa, D. Merlini, TF. Nonnenmacher, ER. Weibel : Editors.

Birkhäuser Press Basel Boston Berlin

March 12-15, 2008

Fifth International Symposium

< **FRACTALS IN BIOLOGY AND MEDICINE** >

in presence of *Professor Benoît Mandelbrot*

Alta Scuola Pedagogica Locarno Switzerland

Venue: Alta Scuola Pedagogica [ASP <http://www.aspti.ch>]

The Fifth Symposium will be hosted by **ASP**, an academic institution recently created with the aims of fostering cultural, pedagogic and scientific roles within the context of the *Università della Svizzera Italiana*.

The ASP is settled in an architecturally attractive building located within the historical core of Locarno which includes: the *San Francesco Square*, the *San Francesco Church* (XIII-XVI Century), the ancient *Monastery of Capuchin Monks* (XVI-XVII Century), the *Visconti Castle* with the *Rivellino* likely designed by *Leonardo da Vinci* (1507 **a.D.**)

Documents

Dans le cadre de la conférence de Philippe HUNEMAN sur « Concept formel d'émergence, causalité et transitions évolutives » nous vous proposons deux de ses articles

P. 12 : Emergence dynamique et Calcul – Problèmes en philosophie des sciences

P. 19 : L'émergence rendue ontologique? Approches computationnelles versus approches combinatoires

EMERGENCE DYNAMIQUE PROBLEMES EN PHILOSOPHIE DES SCIENCES

(Introduction à *Minds and Machines*. Special Issue (Winter 2007)
« Dynamic emergence » ed. par P. H.)

Par Philippe HUNEMAN

Introduction au sujet

Depuis environ les deux dernières décennies, l'« émergence » s'est avérée être un des problèmes centraux dans de nombreux domaines scientifiques. Nous inclinons à parler d'émergence lorsque se font jour, semble-t-il, quelques traits dans un système qui sont soit irréductibles aux propriétés des entités de niveau inférieur, ou imprédictibles à partir des équations qui gouvernent le comportement des parties, ou de quelque manière « neufs » ou originaux. Dans les sciences naturelles comme dans les sciences humaines, les exemples sont légion : transitions de phase, bouchons de la circulation, colonies cellulaires, etc..

Un survol rapide de la littérature nous permet de distinguer au moins deux formes d'émergence : la première étant parfois appelée « émergence synchronique », parce que les traits émergents du niveau supérieur existent dès la présence du niveau inférieur (par exemple, les états mentaux, selon certaines théories psychologiques) tandis que la seconde nécessite un certain temps pour apparaître (par exemple, les transitions évolutives dans l'histoire de la vie), en sorte qu'on peut la qualifier d'« *émergence diachronique* » ou d' *émergence dynamique*. Une des approches des phénomènes émergents diachroniques les rend imprédictibles analytiquement à partir des équations du système (cette sorte d'analyticité en jeu ici nécessiterait une élaboration soignée), en sorte qu'un des seuls moyens de les étudier passe nommément par des *simulations*, en assignant des règles simples -si possibles déterministes- à un ensemble d'éléments pour voir ce qui se passe après un laps de temps donné. Le Jeu de la Vie, les automates cellulaires en général, ou la totalité du domaine de la Vie Artificielle, sont des exemples de telles sortes de modèles. D'autre part, bien que structurellement différents (parce que dérivant de méthodes aléatoires) les algorithmes génétiques tels ceux conçus par HOLLAND, traitent de problèmes similaires. Ceci établit un lien étroit entre le concept d'émergence et le calcul ou les simulations sur ordinateur, ce qui est peut-être rendue par l'idée qu'un phénomène émergent est celui qui provient d'un processus de calcul incompressible. Explicitons les problèmes que pose l'analyse de cette corrélation.

Les nombreux usages du terme « émergence » dans certains domaines scientifiques, tout comme les multiples contextes philosophiques dans lesquels apparaît ce concept, suggèrent une première tâche, consistant nommément à classer la diversité de ces usages et de ces concepts. Premièrement, en *quoi* consiste ce qui émerge ? des propriétés, des formes, des lois, des entités ? Est-il possible de spécifier les types d'émergence en s'axant sur *ce qui* émerge dans chaque cas ? Pouvons nous parler autant de *propriétés* émergentes que d'*entités* ou le *lois* émergentes et existe-t-il un moyen de corréler ces discours ?

Ensuite, en dehors de la distinction de départ entre émergence « diachronique » ou « dynamique » et émergence « synchronique » - qui doit sûrement être élaborée en vue d'une mise en évidence des relations

entre ces deux formes - nous pourrions nous interroger sur la différence entre l'émergence et son concept le plus voisin, la survenance. HUMPHREYS (1997) et Mc Laughlin (1997)) ont adopté des postures opposées sur ces sujets, le premier défendant le fait que l'émergence concerne les cas non descriptibles par le concept de survenance tandis que le second prend l'émergence comme un cas de survenance. RUEGER définit également l'émergence à partir de la survenance, bien qu'il ne l'utilise pas en opposition avec la validité séparée de la notion d'émergence. Ainsi, en général, la survenance est-elle un type d'émergence ou bien l'un de ses préalables? La réalisabilité multiple des propriétés est-elle une caractéristique de base de la survenance impliquée dans la nature de l'émergence? Ou bien l'émergence est-elle un concept qui nous dispense des difficultés et des opacités propres à l'idée de réalisabilité?

Ces problèmes nous conduisent vers une sorte de typologie de l'émergence. Dans ses grandes lignes, la question initiale qu'elle soulève se formulerait ainsi : Devons-nous distinguer l'émergence « forte » de l'émergence « faible » (comme BEDAU (1997) et STEPHAN (1999) ou SILBERSTEIN (2002) l'ont établi diversement), tout d'abord en introduisant un critère computationnel pour l'émergence faible? Et pouvons-nous distinguer ainsi l'émergence forte ou faible selon leur réaction au problème de causalité descendante, ou aux contraintes ontologiques qu'elles comportent? Qui plus est, pouvons-nous définir quelques cas paradigmatiques pour les formes usuelles majeures de l'émergence, en sorte que par exemple, la température, l'entropie, l'adéquation, la coopération, puisse servir d'exemple à certaines formes d'émergence, diachroniques ou synchroniques, fortes ou faibles? Enfin, est-ce que ces formes paradigmatiques pourraient être ordonnées dans une sorte de continuum, allant de l'émergence la plus faible à l'émergence la plus forte et est-ce que ce continuum putatif, s'il existe, pourrait être saisi par des concepts computationnels?

Il en résulte que d'autres problèmes se font jour concernant les *critères* de ces types d'émergence. Jusque là, le lien entre les critères d'émergence et la simulation peuvent être formulés ainsi :

- L'impossibilité d'atteindre l'état final hormis par simulation, ou en d'autres termes l'incompressibilité du calcul de l'état final, constitue-t-elle un critère suffisant d'émergence diachronique?

- Et ce critère est-il épistémologique ou ontologique, c'est-à-dire ce critère conduit-il à une description de l'émergence qui dépend de nos capacités cognitives ou procure-t-il une caractérisation de l'*essence* du phénomène de l'émergence?

Cependant, comment nous prouver que l'imprédictibilité, sauf par simulation, témoigne d'une propriété objective du système et non d'une limitation particulière de nos capacités cognitives? Mais de quel autre critère devons-nous disposer si nous voulons une classification plus fine des émergences diachroniques? Pouvons-nous à partir d'une typologie de simulations déduire une telle classification?

Le problème du critère appartient à une grande classe de questions concernant ce qu'on pourrait appeler une grammaire des concepts d'émergence – qui, bien évidemment, n'est pas sans parenté avec les problèmes de typologie -.

- Par exemple, parler d'« émergence » implique-t-il une séparation entre les niveaux, comment définir ces niveaux?

- S'agit-il seulement d'un problème d'échelle (niveaux macro vs micro)?

- Les niveaux ne devraient-ils pas être définis méréologiquement¹ en sorte qu'en tous les cas, parler de propriétés émergentes revienne à parler des propriétés des parties d'un tout non réductibles aux propriétés des parties ?

BECHTEL et RICHARDSON(1992,1993) ont basé leur typologie d'explication des stratégies exploratoires sur une telle sorte de définition méréologique de l'émergence. WIMSATT (1996) en a donné une formulation directe en caractérisant l'émergence par un échec de définition des conditions précises d' « aggrégativité », ce concept représentant le type de réductibilité d'un tout à ses parties que la plupart des auteurs se représentaient comme l'opposé de l'émergence.

Ici, les soucis précédents à propos des critères devraient nous inviter à prendre en compte, dans les approches de l'émergence, le critère qu'est (dans un modèle informatique) l'impossibilité d'atteindre l'état final hormis par simulation, afin de formuler une solution à ces problèmes grammaticaux et logiques. C'est pourquoi, quelques questions traditionnelles – telles que la causalité descendante, ou l'ineffectivité causale des propriétés de niveau supérieur – généralement traitées en métaphysique ou en philosophie de l'esprit du point de vue de la survenance ou de la multi-réalisabilité, pourraient être formulées fructueusement en prenant en compte ces problèmes de simulation, ces modèles computationnels et l'émergence diachronique.

Une autre classe de problèmes est soulevée par l'épistémologie de la simulation, et les particularités de ce que l'on entend par là. Le problème de base est le suivant : qu'entendons nous par exemple par la simulation de la circulation par des automates cellulaires ou d'une séquence de « Jeu de la Vie (game of life) » ? Et de manière plus basique, qu'entendons nous par simulation ? La simulation est-elle un *modèle* phénoménologique (étant donné que nous avons souscrit à un concept précis de « modèle ») ?

Qui plus est, quelle est la spécificité de ce type de modèle comparé par exemple, à des modèles en électricité (circuits), en biologie (modèles multi-loci en génétique des populations, paysages adaptatifs...), etc. ? Est-ce que cette spécificité implique un rôle particulier pour la dimension visuelle de la compréhension prise comme opposée à la conception traditionnellement linguistique ou prédicative de ce que signifie comprendre quelque chose ? Qui plus est, si notre simulation nous permet de tracer des lignes entre des classes de phénomènes (Classes de WOLFRAM, etc.) conformément aux résultats visibles et ensuite de distinguer entre les ensembles de règles de départ, quel est le statut de ces classes en liaison avec les faits naturels ? Existe-t-il ipso facto des classes de faits ? L'affirmation de WOLFRAM (WOLFRAM, 1984) selon laquelle la nature est un automate cellulaire de classe IV (ou une idée analogue qui pourrait être trouvée dans les travaux de CRUTCHFIELD et ses collaborateurs sur la mécanique computationnelle) est-elle suffisamment robuste pour justifier une telle assimilation entre l'état d'une simulation et celui des choses du monde ? Cette question très générale, située au centre de toute prise en compte de l'émergence et qui cherche à la rendre signifiante pour nos approches scientifiques du monde tel qu'il est – et pas seulement pour nos outils servant à dépeindre les mondes possibles – pourrait être formulée comme suit :

Si nous pouvons repérer quelques propriétés ou processus comme émergents au regard de quelques critères computationnels appliqués à une simulation des faits (matter of facts) auxquels ils appartiennent, et si ces critères sont indépendants de nos capacités cognitives mais sont objectifs (au sens où les propriétés mathématiques pourraient être qualifiées d'objectives), ce statut d' « être émergent » est-il ipso

¹ La méréologie est la science des parties (du grec « meros » la partie)

facto une propriété ontologique, c'est-à-dire une propriété qui concerne non seulement les concepts que nous utilisons pour décrire les faits (matter of facts), ces faits eux-mêmes ?

Il semble que de nouvelles catégories épistémologiques sont nécessaires pour nous permettre d'appréhender l'enjeu exact de la connaissance particulière fournie par ces modèles et leurs simulations, puisqu'il nous manque toujours une représentation claire de leurs caractéristiques de base, comme cela a été soutenu par Paul HUMPHREYS dans *Extending ourselves*. Cette connaissance est-elle semblable à ce que nous appelons d'habitude « *connaissance* » ? Nous devrions par exemple poser les questions suivantes :

- dans une simulation, puisqu'il ne s'agit pas du temps « réel » du phénomène, mais pas une mesure arbitraire ?

- Quel est le statut épistémologique de ces entités de base, comme les « cellules » de calcul dans les automates cellulaires, les simples individus dans les modèles à base d'agents (agent-based models) ou les « blocs de construction » (Building blocks) (HOLLAND) dont toute simulation fait usage ? sont-elles elles-mêmes le modèle de quelque chose, ou ne sont-elles pas en correspondance réglée avec des individus réels, différenciés ?

- Et ceci étant, si le temps pouvait être un critère significatif pour extraire des cas d'émergence diachronique comme Jacques DUBUCS en témoigne ici, quel est le meilleur moyen d'interprétation du temps computationnel impliqué ?

Le temps est aussi une dimension importante lorsqu'on en vient à considérer quelque chose comme émergent, puisque l'émergence semble être accompagnée de robustesse, et que la robustesse implique une certaine durée temporelle.

Quoi qu'il en soit, les conséquences d'un usage généralisé de modèles computationnels aux frontières de la discipline posent des questions à propos de la nature d'un tel saut épistémologique. Si un même moyen de modélisation – par exemple des automates cellulaires avec une règle donnée – peut représenter une turbulence, ou une transition de phase dans un liquide, ou une crise boursière, quel est le statut d'un tel modèle ? Dès qu'on se demande à quelle science il appartient, nous sommes conduits à mettre en question la vision courante de l'architecture de la science en tant qu'échelle allant de la physique fondamentale jusqu'à la sociologie, ceci en héritage de la tradition positiviste. Nous ne savons pas cependant – pourvu que nous ayons un concept robuste d'émergence, si possible computationnel – si :

- a) un phénomène émergent se produit au départ au sein d'un domaine particulier, ou dans une science spéciale dédiée à ce domaine (par exemple la biologie, l'économie etc.) et conduit alors parfois à un modèle commun susceptible, pour des raisons contingentes, d'être utilisé dans plusieurs sciences (tout comme on utilise la même équation pour rendre compte de deux phénomènes différents par essence, comme par exemple la gravitation et l'électricité statique),

- b) ou si le phénomène d'émergence est essentiellement le même à travers tous les domaines et mérite donc un type particulier de science, à côté des spécialités scientifiques, et ayant peut-être à voir avec leurs structures internes communes.

Dans le dernier cas, les cellules, ou les blocs de construction et leurs règles ne sont pas des modèles des éléments de base du phénomène, mais ils sont la méthodologie d'une science formelle dédiée à aucun domaine ontologique particulier. Selon cette option, on devrait s'interroger sur l'origine de l'appartenance de la causalité à ce domaine, puisque d'un côté la science cherche traditionnellement des explications causales, et de l'autre nous n'avons pas ici de processus réels pour faire le travail causal. C'est la raison

pour laquelle une approche spécifique de l'émergence en tant que telle doit examiner les thèses et la structure explicative de la « mécanique computationnelle », cette théorie qui revendique un espace pour des espèces de processus causaux au sein de la science computationnelle, donnés en exemple par les travaux de CRUTCHFIELD, MITCHELL, FORREST et autres (CRUTCHFIELD et al., 1993, 1994). Récemment, BATTERMAN (2001) a soutenu l'appartenance de l'émergence aux stratégies explicatives qui s'abstraient des processus causaux individuels, et mettent en lumière des structures particulières situées à la frontière des théories existantes. Bien que de type différent, l'approche computationnelle de l'émergence comme les postulations propres à toute science formelle des phénomènes émergents ne viendront pas contredire cette vision et leurs confrontations devraient être intéressantes.

Une telle science de l'émergence devrait donc être définie et comparée aux sciences existantes ou aux méthodes de faire la science – et par-dessus tout, à la science des systèmes non-linéaires. Les phénomènes émergents partagent bien sûr quelques traits avec le chaos déterministe ainsi nommé ; Les attracteurs étranges, propres à certaines configurations du chaos déterministe, peuvent être vus comme des formes émergentes. Bien que la physique non-linéaire représente la réalité par des équations différentielles régissant les éléments d'un système, tandis que parler d'émergence diachronique implique l'utilisation de règles simplifiées et d'états discrets pour modéliser des phénomènes, ces deux approches devraient paraître semblables en définitive, la dernière étant un moyen de discrétiser la première. En tout cas, il semble qu'une comparaison entre les attracteurs et les formes émergentes dans les modèles computationnels doit être explorée en vue d'une spécification des caractéristiques propres du concept d'émergence. Alexander RUEGER (2001) a abordé le problème de l'émergence dynamique dans le cadre d'une théorie des systèmes dynamiques en adoptant l'approche topologique caractéristique de ce domaine, mais ceci pose la question de savoir si ces méthodes géométriques saisissent complètement les aspects dynamiques de l'émergence dynamique.

Plus généralement, l'émergence est un terme largement diffusé dans une galaxie floue de théories telles « l'auto-organisation », « au bord du chaos », « sciences de la complexité », etc. qui toutes visent une compréhension des phénomènes communs à divers domaines ontologiques, par exemple sociaux et physiques ou biotiques ou abiotiques. Il semble que la définition précise du concept d'émergence nous aiderait à appréhender les diverses utilisations du terme et ensuite à appréhender la vraie place de ce qui est à proprement parler « émergent » dans cette jungle complexe de théories. Une exploration des simulations pourrait alors tenir la promesse d'une compréhension rigoureuse de l'émergence puisqu'elles sont en quelque sorte plus transparentes que la nature, au sens où nous contrôlons tous les paramètres depuis le début. De ce fait, les critères computationnels de l'émergence pourraient être une voie pour établir le statut et la portée de l'émergence en sciences et dans la nature.

Les contributions de cette publication envisagent, à partir de points de vue divers et parfois opposés, la nature et les promesses des conceptions de l'émergence dynamique. Elles s'attaquent de manières diverses à la problématique générale de l'émergence dynamique établie ci-dessus et à certaines des questions qui y figurent. Tout d'abord, les auteurs se sont intéressés à la possibilité de forger des critères computationnels d'émergence et ensuite à la définition d'un concept robuste d'émergence. Ils projettent ensuite d'établir le champ d'application de ce concept. : à savoir s'il est épistémique, ou objectif-mais-conceptuel, ou ontologique. Ils évaluent les chances d'application d'un tel concept dans des sciences spéciales, et plus généralement, ils questionnent l'articulation entre la science computationnelle des processus émergents et les explications scientifiques en général.

Le contenu de cette revue est le suivant :

Dans leurs articles , BEDAU et DUBUCS vont énoncer, perfectionner et justifier les critères computationnels d'émergence en tant que critères ontologiques. Alors que le premier se soucie de la différence entre l'émergence forte et l'émergence faible et l'autonomie du concept, le dernier met l'accent sur un parallèle entre la faisabilité logique et l'incompressibilité temporelle dans des simulations qui conduisent à une justification formelle de l'objectivité de l'émergence.

Les deux articles de HUMPHREYS et HUNEMAN traitent tous les deux des caractéristiques de robustesse de ce qui pourrait être considéré comme émergent au regard des critères computationnels. Tandis que HUMPHREYS élabore des conditions pour que des schémas satisfassent aux conditions d'émergence, HUNEMAN argumente en faveur de critères causaux faibles qui sont parallèles aux critères computationnels, et à partir de là met en évidence une relation entre l'émergence et quelques traits caractéristiques de la sélection naturelle en biologie.

L'article de John SYMONS établit le champ ontologique de l'émergence computationnelle. En commençant par classer les aspects de l'émergence , SYMONS met aussi l'accent sur les contraintes de robustesse qui devraient augmenter les critères computationnels, pour éviter une applicabilité trop étendue du critère. C'est ainsi qu'il critique l'identification wolframienne des caractéristiques des automates cellulaires aux propriétés du monde, en affaiblissant les conséquences ontologiques de la preuve selon laquelle les automates cellulaires de classe IV sont des machines de TURING universelles.

Le dernier chapitre, écrit par Jennan ISMAEL, prend quelques distances avec l'ensemble du programme d'une approche générale et computationnelle de l'émergence ; elle déclare que nous pourrions saisir l'émergence en général en dépliant les présupposés des concepts d'émergence utilisés en sciences. Fondamentalement, elle évalue les promesses d'une interprétation universelle de l'émergence, pourvu que les approches computationnelles aient été menées à leur fin. Dans ce cas, elle soutient que – en basant son cas sur une critique de la vision de DENNETT -, nous pourrions avoir une théorie unie de l'auto-organisation mais que son champ ne serait pas illimité puisque nous ne pourrions pas comprendre simultanément l'auto-gouvernance. Les systèmes d'auto-gouvernance ou d'auto-contrôle , peu importe comment on pourrait les comprendre , seraient situés au-delà du champ scientifique de systèmes complexes basés sur des procédures de simulation sur ordinateur en notre possession et sur les concepts qui s'appuient sur eux.

Ainsi, en général dans ce volume, les auteurs se soucient de deux points très généraux :

- un concept d'émergence dynamique est-il possible sur la base de considérations computationnelles de compressibilité , et que pourrait être le statut d'un tel concept ?

- L'émergence dynamique est-elle l'objet de théories formelles en science computationnelle ou bien s'agit-il d'un prédicat ontologique susceptible d'être attribué à certains états , propriétés ou processus du monde ?

- et si quelqu'un se réclame de cette dernière option, s'engage-t-il sur une thèse générale à propos du caractère computationnel généralisé de la nature, ou bien le sens ontologique de l'émergence dynamique peut-il être maintenu tout en ayant recours à des hypothèses sur la nature du monde qui ne soient pas aussi fortes ?

Références

- Batterman Robert (2002), *The devil in the details*. Oxford, Oxford University Press.
- Bechtel William and Richardson Robert (1992), “Emergent phenomena and complex systems”, Beckermann A., Flohr H, Kim J. (eds), *Emergence or reduction ?*, Berlin, de Gruyter, pp.257-287.
- Bechtel, William, and Richardson, Robert (1993). *Discovering Complexity*. Princeton: Princeton University Press.
- Crutchfield James, Mitchell Melanie, Hraber (1993), “Revisiting the edge of chaos: evolving cellular automata to perform computations”, *Complex systems*, 7:89-130.
- Crutchfield, James, Rajarshi Das, Melanie Mitchell (1994) "A Genetic Algorithm Discovers Particle-Based Computation in Cellular Automata", In *Parallel Problem Solving from Nature-III*, Y. Davidor, H.-P. Schwefel, and R. Männer (eds.), Springer-Verlag, 344-353.
- Bedau, Mark (1997). Weak Emergence. In James Tomberlin, ed., *Philosophical Perspectives: Mind, Causation, and World*, vol. 11, pp. 375-399. Oxford: Blackwell Publishers.
- Holland, John (1995) *Hidden Order. How adaptation builds complexity*. New-York: Addison-Wesley.
- Holland, John (1998). *Emergence. From chaos to order*. New York: Basic books.
- Humphreys Paul (2004), *Extending ourselves*. Oxford: Oxford University Press
- Humphreys, Paul (1997) “How properties emerge.” *Philosophy of science*, 64, 1 (Mar., 1997), pp. 1-17
- Humphreys Paul (1997) “Emergence, not supervenience.” *Philosophy of science* 64 Proceedings, pp. S337-S345
- Kim Jaegwon (1999), "Making Sense of Emergence", *Philosophical Studies* 95, 3-36.
- Silberstein, Michael (2002), “Reduction, emergence and explanation”, *Blackwell to the philosophy of science*, Silberstein M., Machamer P. (eds), Blackwell, pp. 80-107
- Stephan, Achim (1999) “Varieties of emergence”, *Evolution and Cognition* 5, 1999, 49-59.
- Rueger, Alexander (2000). “Robust supervenience and emergence”, *Philosophy of science*, 67, 3, pp. 466-489
- Rueger, Alexander (2001) “Explanations at multiple levels”, *Mind and machines*, 11? 4, pp.503-520.
- Wimsatt William, (1997), “Aggregation: reductive heuristics for finding emergence”, *Philosophy of science*, 64, proceedings, S372-S384
- Wolfram Steven (1982), “Cellular automata as simple self-organizing systems”, Caltech preprint CALT-68-938.
- Wolfram Steven (1984), “Universality and complexity in cellular automata” *Physica D*, 10:1—35.

L'émergence rendue ontologique? Approches computationnelles versus approches combinatoires

Par Philippe HUNEMAN

Résumé

J'interpelle l'approche habituelle de l'émergence en termes de propriétés de *touts* « émergeant » des propriétés des parties. En effet, ceci ne réussit pas à satisfaire la condition de non-trivialité, puisqu'un tas de propriétés ordinaires sont ainsi rendues émergentes. Cependant en définissant l'émergence comme l'incompressibilité du processus de simulation, nous avons un sens objectif de l'émergence parce que la différence entre les processus satisfaisant le critère d'incompressibilité et les autres ne dépend pas de nos capacités cognitives. Finalement cette définition satisfait mieux aux conditions de non-trivialité et d'adéquation scientifique que l'approche combinatoire, l'émergence étant ici un prédicat du processus plutôt que des propriétés.

Introduction

La définition de l'émergence doit satisfaire deux conditions: premièrement, le concept doit s'adapter à une grande partie de la pratique scientifique (« condition d'adéquation scientifique » (scientific adequacy requirement ») et il doit couvrir certains des usages du mot ; deuxièmement, le concept doit être tel qu'une quantité excessive de choses n'en relèveront pas (« condition de non-trivialité ») . La dernière est évidente puisque si « émergent » signifie bien quelque chose , cela relève des problèmes de nouveauté , afin que le concept ne soit pris comme trivial.

Dans la littérature, l'émergence est souvent sollicitée en termes d'émergence de *propriétés* (O'Connor 1994, Silberstein 2002, Crane 2006, Newman 1996, Chalmers 2006...) ².. Une autre tendance dans les approches consiste à s'axer sur les relations entre le tout et les parties. L'émergence est souvent considérée comme le problème de la compréhension des propriétés de tous qui seraient irréductibles aux propriétés des parties, ce que j'appelle l'émergence combinatoire. Dans cet article j'interpelle l'approche dominante en termes de propriétés et la domination de la compréhension combinatoire de l'émergence en m'axant sur les définitions computationnelles de l'émergence. Je soutiens que cette approche (centrées sur ce qu'est un processus émergent, plutôt que sur l'émergence des propriétés) satisfait alors mieux aux conditions initiales que l'approche combinatoire centrée sur les propriétés.

1. l'approche « du tout et des parties » de l'émergence et ses points faibles

²Parmi les autres options figure l'émergence des lois. Dans la mesure où les lois sont conçues comme des constructions théoriques rendant compte des régularités observées, ceci rend l'émergence épistémologique plutôt qu'ontologique. Mais la loi est un tel problème que ce n'est pas une bonne stratégie d'invoquer pour expliquer l'émergence une notion cependant aussi difficile à construire que l'émergence (Klee (1984)).

Les bouchons de circulation (Nagel, Rasmussen, 1994), les lubies (Tassier, 2004), la température, les chromosomes au moment de la méiose montrent un comportement qui ne peut pas être compris en ajoutant les prises en compte des comportements de leur parties. Il en résulte qu'on les considère comme des comportements émergents: cette émergence est pensée comme quelque chose de propre au tout et d'irréductible aux parties. Des philosophes tels que Silberstein (2002), O'Connor (1994), Bechtel and Richardson (1992) ont abordé le problème de l'émergence en passant par ce pattern de tous et de parties. Phan and Desalles (2005) voient dans l'émergence une chute de complexité, Wilson (2005) une diminution des degrés de liberté – contrairement au simple produit des propriétés des parties (où il y aurait une additivité des degrés de complexité/degrés de liberté)³.

Mais prenons le modèle de ségrégation de Schelling (1969): selon leur couleur, les agents vont se ranger en quelques groupes homogènes. Le comportement “joignez vous au groupe” n'est sûrement pas donné dans les règles de comportement des agents; mais les groupes ne sont pas exactement *composés* des agents, puisqu'eux-mêmes subsistent même si on ajoute quelques agents et si certains “meurent” (Gilbert (1992)). Ainsi, puisque les parties sont transitoires par rapport au tout, une vision simple de l'émergence en tant qu'irréductibilité des propriétés du tout aux propriétés des parties est erronée.

Wimsatt (1997, 2006) a défini l'émergence comme l'échec de l'agrégativité; il importe ici de fournir quelques critères d'agrégativité - ceci concerne le problème de l'émergence d'une autre manière. Les critères d'échec d'agrégativité de Wimsatt sont une formalisation sophistiquée de ce qui est le cas lorsque nous disons que nous ne pouvons pas réduire les propriétés des parties à celles du tout. Ces critères sont: l'invariance au cours de l'intersubstitution des parties; une similarité qualitative au cours des additions/soustractions de parties; une invariance au regard des décompositions/réagréations des parties; une absence d'interactions coopératives/inhibitrices. Ce sont les critères d'invariance; il en résulte qu'ils prennent en compte le cas des parties qui alternent et changent au sein d'un tout. Cependant, il semble qu'à l'exception de la masse, presque rien n'est réellement agrégatif, c'est-à-dire satisfaisant tous les critères, par exemple d'invariance au regard d'une permutation des parties, etc... Ceci est sûrement un problème si on veut saisir la sens de l'émergence dans cette perspective – l'émergence devrait s'appliquer à moins de propriétés que l'ensemble “tout sauf la masse”; c'est ainsi qu'elle devrait alors nécessiter un critère supplémentaire qui n'est pas fourni dans cette analyse. C'est pourquoi il ne nous reste plus que l'idée selon laquelle l'émergence vient par degrés⁴. Cependant, dans cette vision des choses, la signification de l'émergence est assez superflue, nous ne pourrions que parler de degrés d'agrégativité –cela aurait un sens seulement si nous avions déjà ce critère qui détermine comment l'émergence davantage que quelque manque d'agrégativité, mais précisément, notre analyse combinatoire ne le fournira pas.

En réalité, l'émergence est supposée explorer plusieurs caractéristiques: imprédictibilité, nouveauté, irréductibilité (Klee (1984), Silberstein (2002), O'Connor (1994), Crane (2006), Chalmers (2006), Seager (forthc.), Humphreys (1997) convergent largement sur ces caractéristiques). L'irréductibilité interprétée comme irréductibilité des propriétés de tous en ce qui concerne les propriétés des parties semble maintenant tout à fait triviale, et trop fréquente pour fournir quelque chose comme “l'émergence”⁵. En ce qui concerne la nouveauté, puisque les propriétés des tous sont presque toujours

³ Aussi Atay & Jost 2004, 18.

⁴ Aussi Bechtel and Richardson 1992.

⁵ Aussi Bar Yam 2004.

neuves au regard des propriétés des parties –pensez à la couleur, ou au volume – le problème consiste à choisir *quelle* nouveauté devrait être retenue comme émergente. Nous nous retrouvons ici sans critère objectif. Nouveau signifie la plupart du temps ce qui n’a pas de nom dans notre langage (Epstein (1999). Ainsi, ce caractère inévitable conduit à une conclusion largement partagée: si l’émergence a une signification, elle est restreinte à l’émergence épistémologique, c’est-à-dire relative à un ensemble de théories et de capacités cognitives – à l’exclusion peut-être du cas exceptionnel des *qualia* (Chalmers 2006, Crane 2006, Seager forth, Silberstein and Mc Geever 1995, O’Connor 1994).

2. Le critère d’ incompressibilité et les processus émergents.

Dans le cadre des simulations sur ordinateur on a pu définir ce que Mark Bedau (1997) a appelé “ l’émergence faible”. Selon ce critère, un état du processus computationnel est faiblement émergent s’il n’existe pas de raccourci pour y accéder sauf en déroulant la simulation. (“le critère d’incompressibilité de l’émergence”).

Une telle approche contourne la question de la subjectivité propre au problème de nouveauté dans l’approche précédente. C’est pourquoi nous aurions un indice majeur concernant l’émergence qui serait, sinon ontologique, mais au moins *objective* tout comme les vérités *conceptuelles* en mathématiques sont objectives, indépendantes de nos capacités cognitives ou de nos choix épistémiques. Mais on pourrait objecter que notre critère d’incompressibilité est seulement *provisoire*, puisque nous ne pouvons pas affirmer que dans un futur éloigné , avec des augmentations de capacité de calcul, nous serons toujours incapables de trouver des raccourcis analytiques pour atteindre l’état final plus vite que par simulation. Cependant, il y a ici un début de preuve de l’échec de cette objection.

Je vais extraire quelques arguments en faveur de l’objectivité des critères computationnels à partir de Buss et al. (1992). L’idée de base consiste à construire un ensemble d’automates dont les valeurs changent selon une règle globale **R**. Chaque automate transforme la valeur de ses cellules selon une entrée, 0 ou 1. L’application de la règle globale **R** dépend elle-même des nombres de chaque valeur (q_1, q_2, \dots) dans l’ensemble des automates au pas n ; la fonction d’entrée qui va déterminer l’entrée vers tous les automates au pas $n+1$ est déterminée par la règle globale. C’est pourquoi le système est parfaitement déterministe.

Fonction d’entrée : Si $Z_n = 0$, $F(n+1) = g_0(F(n))$

Si $Z_n = 1$, $F(n+1) = g_1(F(n))$

Les fonctions g_0 et g_1 prennent leurs valeurs dans $\{q_1, \dots, q_j, \dots, q_n\}$.

La règle globale R: Z_i prend ses valeurs in $\{0,1\}$.

$Z_i = M(N_i(q_1), \dots, N_i(q_j), \dots, N_i(q_n))$ où $N_i(q_j)$ est le nombre de valeurs temporelles q_j est pris au pas i .

P	F	F		F				F
as	1	2		i				m
0	(0)	(0)		(0)				(0)
P	F	F		F				F
as	1	2		i				m
1	(1)	(1)		(1)				(1)
P	F	F		F				F
as	1	2		i				m
k	(k)	(k)		(k)				(k)
.								
.								
P	F	F		F				F
as	1	2		i				m
n	(n)	(n)		(n)				(n)

Quelques règles globales sont dépourvues de constantes, ce qui signifie qu'elles peuvent être énoncées sans aucune référence à l'une des valeurs réelles q_i ...des constantes, et les autres non. " s'il existe autant de q_i que de q_j , pour toutes les valeurs de i et j , $Z=0$; sinon $Z=1$ " serait un exemple d'une règle dépourvue de constantes. Buss et al. (1992) montrent que si la règle globale n'est pas dépourvue de constantes, alors le problème de la prédiction de l'état du système au temps T est complet dans PSPACE ; c'est pourquoi le problème ne peut être résolu en temps polynomial (puisque nous prenons pour hypothèse qu'aucun des problèmes $P=NP$ ⁶ et NP ne fait partie des problèmes PSPACE en sorte qu'étant complet en

⁶ Même s'il s'avère que cette hypothèse est fautive, le fait que NP soit strictement inclus dans PSPACE implique que le fait d'être complet en PSPACE rend le problème de la prédiction pour des règles non dépourvues de constantes

PSPACE entraîne qu'étant tel que tous les problèmes NP puissent être traduits en ce problème, ce qui le rend pour le moins plus difficile que celui d'être complet en NP)). Une démonstration détaillée repose sur le fait que des règles globales dépourvues de constantes sont préservées au cours d'une permutation des q_i , ce qui constitue une différence majeure concernant le pattern computationnel de la prédiction.

Ce résultat illustre parfaitement le fait que quelques dispositifs computationnels soient objectivement incompressibles. Comme l'écrit l'auteur: "si le problème de prédiction était complet dans PSPACE, ceci signifierait essentiellement que le système n'est pas facile à prédire, et qu'il semble qu'il n'y ait pas de meilleure méthode de prédiction autre que la simulation." (2) Même avec des capacités cognitives infinies, il existerait une véritable différence entre les problèmes de prédiction qui sont PSPACE complets et les autres, en sorte que la définition computationnelle de l'émergence est *objective*.

L'émergence faible définie en tant qu'inaccessibilité sauf par simulation n'est donc *pas quelque chose de trivial* puisque, dans ce cadre, toutes les règles globales qui sont dépourvues des constantes sont calculables en temps polynomial, ainsi nous avons une délimitation claire entre les quelques cas faiblement émergents et les autres.

3. Patterns, ordre et imprédictibilité.

Maintenant, en parlant d'émergence computationnelle, *qu'est-ce que désigne à proprement parler l'émergence ?* Paul Humphreys (2004, 2007) parle de *patterns* émergeant dans les automates cellulaires (CA); le pattern robuste, non calculable sauf par simulation, est alors une propriété émergente dans un CA. Mais pour Dennett (1991), un pattern est une collection de caractéristiques qui peuvent aisément être distingués des autres et reconnus; C'est pourquoi il devrait comporter un niveau élevé de redondance. Un pattern (schema-D) dans ce sens est facilement déductible de l'une de ses parties (contrairement à Humphreys (patterns-H)). Ainsi définis, les patterns-D semblent assez dépendants de l'esprit, puisqu'il accède aux patterns au moyen de leur reconnaissance, tandis que la reconnaissance est liée à nos capacités cognitives. Néanmoins nous pouvons spécifier ces patterns de redondance par quelques propriétés purement internes, telles la redondance, la symétrie, ou tout cas d'invariance à travers des homéomorphismes: ceci rend les patterns--D indépendants de l'esprit.

Il semble qu'il n'y ait aucun moyen de comprendre au travers d'une approche computationnelle certains des exemples de " patterns-D émergents " identifiés par des approches combinatoires. Fondamentalement, si quelqu'un dessine un pattern-D sur une grille $n*n$, il y aura quelques symétries etc., ainsi il lui faudra moins de n^2 informations pour être décrit. C'est ainsi que le tout n'est pas l'agrégation des parties. Mais précisément dans ce cas le pattern final semble contredire le critère d'incompressibilité, parce que les symétries procurent des raccourcis pour représenter le pattern total.

C'est pourquoi il y a deux pôles dans l'idée vernaculaire des patterns émergents: *l'ordre* (les patterns-D étant le plus souvent pris en exemple) et *l'imprédictibilité*. Les groupements qui s'isolent, les bouchons de circulation, les modes (Gilbert (1992), Tassier (2004), Nagel et Rasmussen (1994)) révèlent un certain ordre à la place de la pure hétérogénéité attendue. Ils montrent une chute claire de complexité (par exemple un groupement qui s'isole peut être défini en n zones plutôt qu'en $p \gg n$ points). Cet aspect

incommensurablement plus difficile pour toute capacité cognitive que celle pour les règles dépourvues de constantes qu'on peut résoudre en temps polynomial.

d'“ordre” soulève facilement l'objection de son caractère épistémologique (Phan and Dessales (2005): les ordres émergents dépendent toujours de nos capacités épistémiques puisqu'ils se rapportent à une complexité “attendue”.

D'autre part, l'aspect d'“imprédictibilité” est rendu par le critère d'incompressibilité. Cependant il existe une similarité entre la définition de Chaitin du caractère aléatoire d'une séquence de nombres, et le critère d'incompressibilité de l'émergence faible; mais si ce critère inclut le caractère aléatoire, comment l'émergence faible pourrait-elle être réconciliée avec l'aspect d'ordre? Il me faut maintenant expliquer une telle similarité.

Dans une séquence aléatoire, la $n^{\text{ième}}$ digit et ses précurseurs ne donnent aucune information concernant la $n+1^{\text{ième}}$ digit, x , et ceci est bien sûr l'idée intuitive du caractère aléatoire, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune raison pour x d'être une chose plutôt qu'une autre. L'idée de Chaitin de l'absence d'un algorithme qui nous épargnerait cet examen pas-à-pas de la séquence rend formellement compte de cette compréhension naïve. C'est pourquoi x est imprédictible vis-à-vis de la séquence précédente: ainsi si vous voulez connaître x il vous faut lire la totalité des $n+1$ premières digits. D'autre part, le critère d'incompressibilité d'émergence formule l'imprédictibilité d'un état donné à partir de la connaissance de la règle et de l'état initial – mais bien pas sûr, du pas $n+1$ relativement au pas n , puisque ceci est parfaitement déterministe et déterminé. En bref, le caractère aléatoire de Kolmogorov/Chaitin exige qu'il n'existe pas de programme dont la longueur soit significativement plus courte que la longueur de la séquence d'états. Mais un programme court peut exister –les règles du CA – qui produit une séquence incompressible d'états.

Les aspects d'ordre et d'imprédictibilité semblent se contredire les uns les autres, précisément parce que nous opposons implicitement ici l'ordre et le caractère aléatoire. Cependant étant donné la différence cruciale mentionnée ci-dessus entre caractère aléatoire et critère d'incompressibilité de l'émergence, il n'existe pas de véritable opposition entre un critère computationnel d'émergence, et un critère d'ordre – de sorte que quelques sens usuels de l'émergence qui connotent l'“ordre” ne sont pas en principe exclus par la vision computationnelle. Le problème consiste alors à donner un sens à ces connotations au sein de l'émergence computationnelle.

III. La Trivialité et la question du caractère aléatoire.

Les deux approches –une émergence due à l'ordre dans une perspective combinatoire, et une émergence computationnelle - radicalement divergente dans des cas simples. Par exemple, prenez le CA défini par $C_0 = 1,0,1,0, \text{ etc.}, 0$, et la règle: “si au moins un voisin vaut 1, changez le en 0 et réciproquement”. Le résultat sera clairement le pattern clignotant b :

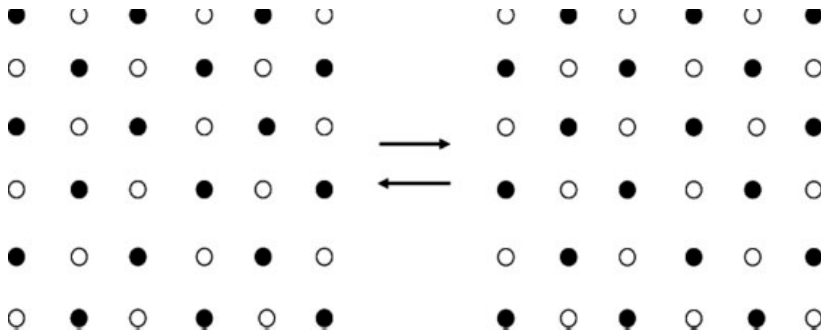


Fig. 1. Pattern clignotant b.

Ici, nous avons une sorte de pattern non inclus dans chacune des cellules, mais ceci peut seulement être donné au moyen de leurs relations. Aucune description des parties (noir, blanc etc.) n’inclut la représentation du tout, qui clairement fait preuve d’un échec d’agrégativité. Mais il n’y a pas d’incompressibilité: pour connaître l’état du CA au pas n , il me faut seulement vérifier si n est impair ou pair.

La notion computationnelle d’émergence n’exclut pas précisément ce pattern en tant que tel, mais seulement l’automate cellulaire (règle+état initial) ainsi décrit. Cependant, dans certains cas nous pourrions considérer que ce pattern précis émerge, par exemple, dans l’étude de Burke et al. (2006) à propos des normes locales on nous montre qu’avec de simples règles d’imitation et d’augmentation de l’adéquation, et quelques patterns initiaux spécifiques de distribution, en un modèle à base d’agent, des normes locales vont émerger : un pattern de normes clignotant b’ apparaît finalement en tant qu’état final stable dans plusieurs configurations lorsque sont fixés certains paramètres concernant la distribution initiale des signaux et les dispositions de choix des agents.

Ainsi, selon la vision computationnelle ce n’est jamais le pattern lui-même qui est émergent (puisque les patterns b et b’ sont identiques), mais *l’émergence est une caractéristique de tout le processus de simulation à base d’agent*—autrement il n’y aurait aucune différence entre les patterns clignotants b et b’. (ceci préserve la vision computationnelle de la trivialité propre à la vision combinatoire) Comme Paul Humphreys (2007) le souligne, les patterns émergents sont toujours des exemplaires-de-patterns (et non des types-de-patterns) puisque d’autres exemplaires du même type, par exemple une photo de notre pattern b’clignotant, ne serait pas émergents. Ce qui clairement individualise l’exemplaire-de-pattern en tant qu’exemplaire est le processus CA dans lequel une partie est une partie.

Une telle considération permet à cette approche de satisfaire notre condition initiale —d’adéquation scientifique. En réalité, si X résulte de manière incompressible d’un état initial X_0 dans un CA, rien ne l’empêche d’être un nombre aléatoire (“problème de l’exclusion du caractère aléatoire”). En effet: supposons que $X = \sum_{(i=0, \dots)} X_i 10^{-i}$ est un nombre aléatoire. Puisque les CA de classe IV sont des machines de Turing universelles⁷, il doit exister un CA noté H muni d’une règle R et d’un état initial X_0 dont l’état final est X . Ainsi, étant donné qu’il existe tant de CAs dont le résultat est aléatoire, nous pouvons supposer qu’il y aura un grand nombre d’« états émergents » selon le critère d’incompressibilité que sont les séquences aléatoires. Fondamentalement il n’existe aucun moyen pour garantir que les patterns

⁷ voir Wolfram (1984).

aléatoires sont empêchés en tant que tels d'être comptés comme patterns émergents, puisque rien dans la définition computationnelle de l'émergence ne distingue entre les patterns aléatoires et non-aléatoires. Qui plus est, des propriétés bancales comme P : "étant dans l'état X , ou Y ou Z ", où X , Y et Z sont des nombres aléatoires, sont des propriétés trivialement émergentes de H .

Si notre définition permet à tous ces nombres aléatoires de passer pour émergents, nous perdrons sa connexion avec la signification habituelle de l'"émergence", ce qui semble être d'un coût trop élevé à payer. Dans ce cas nous devrions continuer à appeler ces patterns "incompressibles" et cesser de nous emmêler les pinceaux avec l'émergence.

Mais puisque *l'émergence est un prédicat du processus plutôt qu'un prédicat des propriétés*, ce qui est en premier déclaré comme émergent est le processus, et seulement de façon secondaire, certaines propriétés (en tant qu'états d'un processus émergent) seront déclarées émergentes. Ainsi des propriétés bancales (comme P) qui ne sont pas des résultats individualisés d'un processus ne peuvent satisfaire le prédicat "émergent". Et puisque nous individualisons les articles émergents au moyen du processus, s'il existe des descriptions nous permettant de distinguer *diverses classes de processus*, ceci impliquerait une *distinction de principe* – dans l'ensemble des processus satisfaisant au critère d'incompressibilité – entre les patterns aléatoires inintéressants et les autres, ce qui convient mieux à la signification usuelle de l'émergence.

On peut en disposer par le biais du langage de description *de la mécanique computationnelle* initié par Hanson and Crutchfield (1993, 1997; Shalizi, Crutchfield (2001)). L'idée de base est que nous pouvons exfiltrer tout CA de manière telle que "des domaines", "des particules" et des "frontières" apparaîtront naturellement. Des processus dans le CA peuvent alors être décrits comme des interactions entre des particules, des ouvertures et des collisions de domaines, etc. Comme l'écrivent les auteurs: "La première catégorisation empirique des patterns de l'espace-temps en quatre "classes" [référence à Wolfram]—basée vaguement sur une analogie avec ceux trouvés dans les systèmes dynamiques de l'état continu —a résisté à de nombreuses tentatives de formalisation. Dans beaucoup de CA, il est immédiatement évident que le système s'auto-organise en un certain type de pattern émergent. Dans d'autres CA, la structure ou même l'existence d'un pattern émergent est moins claire. C'est pourquoi la question qui se pose naturellement est comment caractériser les patterns spatio-temporels qui émergent pendant l'évolution du CA'. Si une telle caractérisation est possible, on peut l'utiliser comme base pour les outils numériques et analytiques qui découvrent, analysent, filtrent les patterns qui émergent dans le CA."

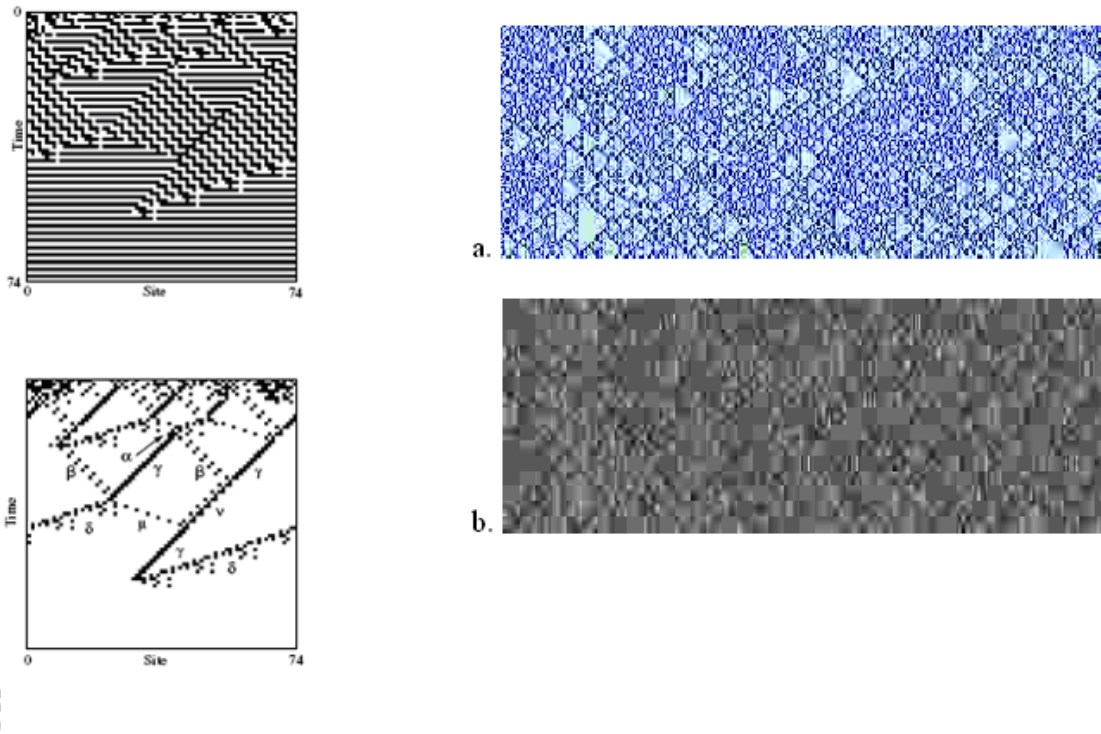


Fig.2. 1. Après filtration, les types de particules (lettres grecques) et leurs interactions apparaissent dans un CA, dont le pattern semble résulter de ceux “mécaniques” (de Crutchfield, Hanson 1993). 2. A CA (Règle 22, configuration initiale aléatoire) (a) sans et (b) avec une “sensibilité locale” automatique filtrant – ensuite n’affichant pas de domaine réel il en résulte qu’il apparaît comme chaotique (d’après Shalizi et al. 2006).

En tout cas, nous pouvons définir quelques ensembles de particules et de domaines: ces ensembles seront propres à un CA, et définis par leur structure générative (Fig. 2.1). “La mécanique computationnelle tente de découvrir et de caractériser les *patterns typiques* survenant dans un CA donné”, ont écrit Crutchfield et Hanson (1993). La délimitation des patterns de *domaines* utilisés par plusieurs CAs en tant que “blocs de construction” (*building blocks*), et leur expression alors en tant qu’automates finis, revient à une typologie possible des CAs. C’est pourquoi nous aurons alors des *types* de processus élémentaires, qui nous permettront de définir des classes de processus émergents. Ainsi, dès qu’il existe un “domaine” périodique nous sommes sûrs qu’il va afficher quelques régularités, et ceci empêche un caractère aléatoire pur; la gamme de “blocs de construction” périodiques et leurs types d’entrelacement dans les CAs peut de ce fait être la base d’une caractérisation et d’une typologie de processus incompressibles qui nous permettent d’exclure de manière fiable une vaste classe de patterns purement aléatoires (pas nécessairement tous) à partir de qui est susceptible d’être émergent selon le simple critère d’incompressibilité. Ceci nous conduit à intégrer la connotation usuelle d’“ordre” de l’émergence dans l’émergence computationnelle. En conséquence, Shalizi et al. (2006) ont conçu des filtres automatiques qui nous permettent de caractériser des processus sans domaines ni murs, donc purement chaotiques et dont les résultats alors sont aléatoires (par ex. dans la règle 22 le filtre local de sensibilité ne rend aucun

pattern saillant - fig.2.2). La mécanique computationnelle procure donc un ensemble d'outils– filtres –qui nous aident à répondre au problème de l' exclusion du caractère aléatoire (fig. 3).

Fig.3.Image finale

Classe: Incompressibilité computationnelle

Émergence de propriétés

Sorte : A. Propriétés bancales (disjonctive etc.) B. *Processus émergents*

Espèce: B.1 Patterns aléatoires / B.2. *Patterns “Intéressants”*

(sous-classes spécifiques caractérisées par une géographie propre des domaines de particules, géographie mesurable en complexité)

Dans la colonne de droite B2 nous obtenons (au moins) une signification *objective, non épistémologique de l'émergence* dans le CA qui *remplit* la condition de non-trivialité, et qui est capable d'être correctement confrontée à la *signification habituelle* de l' “émergence”.

IV. Modèle à base d'agents et la question de la trivialité .

Elargissons maintenant le domaine de l'émergence computationnelle en considérant des simulations autres que les CAs. Dans son article de (1999) Epstein conclut son investigation par une critique de l'usage populaire de l'“émergence” dans le discours des gens faisant des simulations sociales. Son argument tient contre une version naïve de l'approche du tout et des parties de l'émergence. En ce qui concerne la modélisation *sociale à base d'agent*, le dilemme qu'il affiche va à l'encontre de toute formulation d'émergence faible. Il formule une comparaison avec la structure abeille/ruche. “ La revendication typique de l'émergentisme classique serait : *Aucune description de l'abeille individuelle ne peut jamais expliquer le phénomène de l'émergence de la ruche* (...) Le morceau « suspect » de la formulation est la phrase “description of de l'abeille individuelle ” (...) La description de « l'abeille » n'inclut-elle pas ses règles d'interaction avec les autres abeilles? (...).Mes “règles d' interaction sociale” sont, en partie, ce qui me font « moi ». Et, probablement, les règles d'interaction sont ce qui en fait une abeille —et non un grumeau. Lorsque (en tant que concepteur d' objets-agent) vous ajustez ces règles —lorsque vous obtenez correctement “l'abeille individuelle ”—vous obtenez également la ruche (...) A moins que les abeilles (modèles) théoriques ne génèrent la ruche lorsque vous mettez ensemble un paquet d'entre elles , vous n'avez pas décrit adéquatement “l'abeille ”.Ainsi, contrairement à la revendication émergentiste d'ouverture, *il s'agit précisément de la description adéquate de “l'abeille individuelle ”qui explique la ruche.* “Ainsi, réciproquement, si vous dites que la ruche “émerge” vous devez dire que tout résultat *d'une description complète d'un ensemble d'entités* est émergent.

Fondamentalement, Epstein argumente contre les émergentistes que:

Soit A. *il n'existe aucune émergence* puisque les résultats de tout modèle à base d'agent - bien qu'ils soient évidemment non agrégatifs – découlent toujours du comportement des agents, ainsi il n'y a pas de nouveauté dans leur soi-disant pattern “émergent” comparé à l'ensemble de tous les comportements et leurs conséquences (comparé à quoi cet état final pourrait passer pour nouveau puisqu'on n'attend aucun autre résultat collectif?);

Or B. *tout est émergent*, puisque “émerger des règles et configurations initiales” dans un modèle à base d'agent signifie être “général”, ce qui revient à provenir de l'activation des règles de tous les agents, et c'est le cas de tout état final quel que soit le modèle à base d'agent.

Le problème ici est dans ce que signifie “déduction”: “déduire” l'état final d'un ensemble d'agents, selon Epstein, consiste uniquement à laisser ces agents agir selon leurs règles. Mais la “déductibilité” dans ce sens est prise comme garantie par tout le monde, puisque la définition même d'une simulation sur ordinateur implique que tous les agents se comportent conformément à leurs règles, en sorte que l'état final puisse toujours être déclaré comme déduit des conditions initiales. Cependant, en défendant l'idée de l'émergence computationnelle qui devrait contraster avec la déductibilité, on devrait mettre l'accent sur un autre sens de déduction (noté *déduction**), nommément la déduction de l'un des états globaux finaux du système à partir des états globaux antérieurs: le critère d'incompressibilité signifie précisément qu'il n'y a pas de possibilité pour une telle déduction*. En utilisant Buss et al. (1992) nous avons juste vu (§2) que de tels cas existent en général.

Ainsi tous les états sont trivialement déductibles, et c'est pourquoi, en accord avec l'exigence d'Epstein A, il n'y a pas d'émergence *si* émergence signifie le contraire de la déductibilité. Mais l'émergence comprise comme computationnelle exclut *seulement* la déductibilité*. Essentiellement, voici les arguments d'Epstein: soit émergent=général=déductible, soit émergent est opposé à déductible; parce que tout est général dans des modèles à base d'agent, l'émergence est soit impossible soit triviale. Mais puisque “émergent” n'est vraiment opposé qu'à “déductible*”, qui est un sous-ensemble de “déductible”, il y a échec de l'alternative. Il est possible que des phénomènes puissent être déduits=généralisés, mais non déductibles*, et soient de ce fait émergents; en effet, c'est le cas de nombreux modèles à base d'agents rencontrés jusqu'ici – les cycles de mode (Tassier 2004), les bouchons de la circulation (Rasmussen, Nagel 1994), les normes locales (Burke et al. 2006). Ainsi l'émergence au sens du critère d'incompressibilité peut s'appliquer à la modélisation à base d'agent.

Réciproquement *si “émergent” était une catégorie triviale, tout ce qui est déductible dans le modèle à base d'agent (ABM) serait non-déductible**; mais ceci est faux. Supposez par exemple que nous ayons une distribution initiale clignotante, et une règle qui soit “faites le contraire de ce que font vos voisins immédiats horizontaux (et au cas où ils auraient entre eux des comportements opposés, ne bougez pas).” Il s'agit clairement du pattern précédent de clignotement b (fig.2) – et ainsi il existe un raccourci pour calculer l'état du système à n, ce qui rend cet état déductible*. C'est pourquoi l'émergence dans les modèles à base d'agent - déductibilité sans déductibilité* - n'est pas triviale.

Conclusion.

La notion computationnelle de l'émergence, implantée dans le critère d'incompressibilité, et qui est naturellement axée vers les processus plutôt que vers les propriétés, satisfait les deux conditions de non-trivialité et d'adéquation scientifique mieux que les visions combinatoires. Dans les deux domaines de modélisation à base d'agents et d'automates cellulaires, on peut décrire formellement une classe de processus émergents limitée et qui correspond grossièrement à notre tendance linguistique à parler d'émergence dans ces cas.

Références

- Atay F., Jost J. (2004) "On the emergence of complex systems on the basis of the coordination of complex behaviours of their elements." *Complexity* 10, 1: 17-22
- Bar Yam Y. (2004) "A mathematical theory of strong emergence using multiscale variety". *Complexity* 9, 6: 15-24
- Bechtel W. and Richardson R. (1992) "Emergent phenomena and complex systems." Beckermann A., Flohr H, Kim J. (eds), *Emergence or reduction ?*, Berlin, de Gruyter, pp.257-287
- Bedau, M. (1997). "Weak Emergence". In James Tomberlin, ed., *Philosophical Perspectives: Mind, Causation, and World*, Oxford: Blackwell Publishers, vol. 11, pp. 375-399..
- Burke M., Furnier G., Prasad K. (2006) "The emergence of local norms in networks." *Complexity* 11, 5, 65-83
- Buss S., Papadimitriou C., Tsisiklis J. (1992) "On the predictability of coupled automata. An allegory about chaos." *Complex Systems* 5 525-539.
- Chalmers D. (2006) "Weak and strong emergence" *The Re-emergence of Emergence*. P. Clayton and P. Davies, eds. Oxford University Press, in press.
- Crane T. (2006) "The significance of emergence." *The Re-emergence of Emergence*. P. Clayton and P. Davies, eds. Oxford University Press, in press.
- Crutchfield J., Hanson J. (1993) "Turbulent pattern bases for cellular automata." *Physica D* 69: 279-301
- Crutchfield J., Hanson J. (1997) "Computational mechanics of cellular automata: an example." *Physica D*. 103: 169-189
- Crutchfield J., Shalizi C. (2001) "Pattern discovery and computational mechanics." [arXiv:cs/0001027v1](https://arxiv.org/abs/cs/0001027v1)
- Dennett, D. (1991) "Real Patterns" *Journal of Philosophy*, 88,1: 27-51.

- Epstein J. (1999) "Agent based computational model and generative social science." reed. *Generative social science*, Oxford: Oxford University Press. (In press, Chapter 1).
- Gilbert N. (2002) "Varieties of emergence." *American Journal of sociology*
- Hordijk W., Crutchfield J., Mitchell M. (1996) "Embedded particle computation in evolved cellular automata." *Proceedings physics and computation*
- Humphreys P. (1997) "How properties emerge." *Philosophy of science*, 64: 53-70.
- Humphreys P. (2004) *Extending ourselves*. New-York: Oxford University Press.
- Humphreys P. (2007) "Synchronic and diachronic emergence." *Minds and machines*, special issue, Huneman & Humphreys (eds.), forthc.
- Klee R. (1984) "Microdeterminisms and concepts of emergence." *Philosophy of science* 51: 44-63
- O'Connor T. (1994) "Emergent properties", *American Philosophical quarterly*, 31: 91-104
- Nagel, K., Rasmussen K. (1994) "Traffic at the Edge of Chaos." In *Artificial Life IV*, ed. R. Brooks. Cambridge: MIT Press.
- Phan D., Dessalles J.L. (2005) "Emergence in multi-agent systems: cognitive hierarchy, detection, and complexity reduction"
- Schelling T. (1969) "Models of segregation." *American economic review*, 59, 2: 488-493.
- Seager (forth) "Emergence and efficacy."
- Shalizi C., Haslinger R., Rouquier J.B., Klinkner C., Moore C. (2006) "Automatic filters for the detection of coherent structures in spatiotemporal systems" *ArXiv CG/0508001*
- Silberstein M. (2002) "Reduction, emergence and explanation", *Blackwell to the philosophy of science*, Silberstein M., Machamer P. (eds), Blackwell, pp. 80-107
- Silberstein M., Mc Greever J. (1995) "The search for ontological emergence", *Philosophical quarterly*, 49: 182-200
- Tassier T. (2004) "A model of fads, fashions and group formations." *Complexity* 9, 5: 51-61

Wilson J. (2005) "Emergence and degrees of freedom" *Internet philosophical conference*

Wimsatt W. (1997) "Aggregation: reductive heuristics for finding emergence", *Philosophy of science*, 64, proceedings, S372-S384

Wolfram S. (1984) "Universality and complexity in cellular automata" *Physica D*, 10:1-35.