

BULLETIN N° 121
ACADÉMIE EUROPÉENNE
INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 8 janvier 2008

Conférence de Hervé ZWIRN,

Directeur de Recherche Associé au CNRS (CMLA à l'ENS de Cachan et IHPST):

« *Les Systèmes complexes* »

Prochaines séances 18heures salle 215

1) Mercredi 6 février 2008

Conférence de Christophe MALATERRE :

« *Origines de la vie : émergence ou explication réductive ?* »

2) Mardi 12 février 2008,

Conférence d'Hugues BERSINI Professeur à l'ULB:

« *Qu'est-ce que l'émergence ?* »

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



APPEL A COTISATION 2007-2008

Cher Collègue,

Selon les décisions prises lors de la dernière Assemblée générale du 13 novembre 2007, la cotisation pour **l'année 2007-2008 a été maintenue à 60€**. Si vous ne vous en êtes pas encore acquitté, il vous appartient donc d'adresser **un chèque de 60€** à **AEIS** et de l'envoyer à notre Collègue Trésorier :

Bruno BLONDEL
Les Jardins de Bures, Pavillon 65
91440 BURES S/Yvette.

Je vous prie d'agréer l'expression de mes sentiments les meilleurs,

Irène HERPE-LITWIN
Secrétaire générale AEIS

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
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI.
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

janvier 2008

N°121

TABLE DES MATIERES

- P.3 Compte-rendu de la séance du 11 décembre 2007
- P.8 Comptes-rendus de la section Nice-Côte d'Azur du 15 novembre 2007
- P.16 Annonces
- P. 21 Documents

Prochaines séances :

MSH, salle 215-18heures

1)Mercredi 6 février 2008

Conférence de Christophe MALATERRE :

« Origines de la vie : émergence ou explication réductive ? »

2)Mardi 12 février

Conférence de Hugues BERSINI, Professeur à l'ULB

« Qu'est-ce que l'émergence ? »

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

Séance du
Mardi 8 janvier 2008

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

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Michel GONDRAN et en la présence de nos collègues, Bruno BLONDEL, Alain CARDON, Irène HERPE-LITWIN, Gérard LEVY, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS , Victor MASTRANGELO, Emmanuel NUNEZ, Alain STAHL

Etaient venus en invités deux membres de l'association PIF, Gérard TRONEL et Jean Pierre LAFON.

Etaient excusés : François BEGON, Gilbert BELAUBRE, Françoise DUTHEIL, Marie-Louise LABAT, Pierre SIMON

I) Informations générales

Une séance exceptionnelle de notre Académie se tiendra le mercredi 6 février prochain à 18 heures à la Maison des Sciences de l'Homme, salle 215 pour accueillir Hugues MALATERRE qui nous présentera un travail sur l'émergence intitulé :

« Origines de la Vie- Emergence ou explication réductrice ? ».

Nos collègues peuvent lire à ce propos le texte qu'il nous a communiqué à ce sujet p.22

Par ailleurs, notre Président nous présente le conférencier du jour, Hervé ZWIRN , ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Directeur de Recherches associé au CNRS, Président de la Société EUROBIOS qui s'est spécialisée dans les sciences de la Complexité et leurs applications au monde des affaires. Hervé ZWIRN a également travaillé chez THOMSON-CSF, à la STERIA et dans un groupe de recherche opérationnelle BIOS fondé par une équipe de chercheurs de Santa-Fe.

En tant que chercheur, après une Thèse d'Etat en physique des particules à PARIS VI, il s'est intéressé au traitement de la Complexité et plus particulièrement à la modélisation du raisonnement humain.

Il est l'auteur de plusieurs livres d'épistémologie:

- *Les limites de la connaissance*, [Éditions Odile Jacob](#), coll. « Sciences », 23 septembre 2000
- *Mécanique quantique et connaissance du réel* in *Implications philosophiques de la science contemporaine*, sous la direction de Bernard d'Espagnat, vol. 2, [Presses universitaires de France](#), 2002
- En collaboration avec L.Soler, *Philosophie de la physique*, [Éditions L'Harmattan](#), 2006
- *Les systèmes complexes : Mathématiques et biologie*, Éditions Odile Jacob, coll. « Sciences », 19 octobre 2006, Broché, 219 p.

II) Conférence d'Hervé ZWIRN « Les systèmes complexes »

Notre conférencier tente de nous donner une définition d'un système complexe :

Un système composé de constituants qui interagissent de manière non triviale, c'est-à-dire principalement non linéaire. Un système complexe diffère cependant d'un système compliqué.

Il distingue trois types de systèmes explicités par des exemples:

- 1) **Le Système simple** comme par exemple un engrenage qu'il est aisé de suivre de proche en proche et donc de prévoir. Il ne comporte pas de processus rétroactifs.
- 2) **Le Système compliqué** comme par exemple une télévision dont on peut considérer la fonction comme résultant de plusieurs fonctions distinctes qui se combinent de manière indépendante. On peut parfaitement en simuler le fonctionnement en découpant le système en sous-systèmes analysables de manière indépendante. Le système compliqué peut contenir des processus rétroactifs avec de très nombreuses étapes..
- 3) **Le Système complexe** qu'on ne peut analyser comme la succession ou la juxtaposition de comportements de systèmes indépendants. Le système complexe possède **un comportement holistique**. Le comportement holistique implique un changement de la nature de la compréhension du système. Il n'y a plus de place pour une compréhension intuitive.

Il existe de nombreux exemples de systèmes complexes comme :

- Les systèmes d'automates cellulaires
- Les réseaux aimantés
- Les chaînes de production industrielle
- La Ville
- L'économie
- Les embouteillages
- La cellule
- Le cerveau
- L'être vivant
- La société etc..

Les systèmes sont régis par des règles de base. Il existe successivement:

1) *Des règles simples mais le comportement du système ne l'est pas nécessairement.*

Par exemple un système compliqué n'est pas nécessairement issu de causes compliquées. Il y a évolution du simple vers le complexe.

2) *Des briques et des niveaux de base.*

Les briques et les niveaux de base peuvent être des quarks, des nucléons, des atomes, des molécules, des cellules vivantes etc...Chaque niveau possède sa description théorique. Le réductionnisme consiste alors à construire chaque niveau à partir du/des niveaux inférieurs. Chaque niveau a ses règles mais il n'existe aucune irréductibilité des règles du niveau supérieur par rapport à celles du niveau inférieur.

3) *Une amplification des petites différences*

L'amplification des petites différences peut être de nature exponentielle entraînant la formation d'un chaos déterministe (effet « papillon »), et l'éloignement de l'horizon temporel de prédiction comme dans la prédiction météorologique.

4) *Des transitions de phase*

Une toute petite modification d'un paramètre entraîne un changement important de comportement du système . Ceci est fréquemment observé dans les phénomènes de percolation, les changements d'état (solidification, vaporisation, liquéfactions..) , le ferromagnétisme, les embouteillages, les krachs boursiers.

5) *Une auto-organisation et l'émergence*

L'émergence possède une caractéristique globale d'imprédictibilité à partir du niveau inférieur. Des lois simples entre agents vont engendrer un comportement qui va au-delà des capacités individuelles. Le comportement pertinent au niveau global n'en a plus au niveau inférieur. Il existe dans l'émergence une auto-organisation comme celle que l'on peut par exemple observer dans les vols d'oiseaux.

6) *Une adaptation*

L'adaptation consiste en une modification de la structure interne du système en réaction à l'environnement. Elle est présente autant dans le cerveau que dans les espèces vivantes, les sociétés humaines . Les systèmes complexes sont adaptatifs (en anglais :CAS Complex Adaptive Systems). Ils impliquent la notion de coévolution.

Diverses questions sont posées au conférencier :

- Sur le rôle de l'intuition dans la compréhension des phénomènes psychiques – hautement complexes s'il en est – et qui permet d'anticiper certains comportements. Pourquoi l'intuition et la complexité sont-elles incompatibles ?
- Sur le rôle d'une éventuelle réduction de la consommation d'énergie reconnue comme favorable par la sélection naturelle dans la détermination du vol des oiseaux.
- Sur le rôle des prédateurs dans le cas du vol d'oiseaux

- Sur le caractère aléatoire de l'émergence
- Sur le fait que la simulation à la suite d'une modélisation par des agents permette la prédiction. En quoi la description du phénomène par des équations dynamiques reflèterait la réalité ?
- Sur les mesures de complexité

Hervé ZWIRN déclare qu'un système complexe est inaccessible à celui qui ne le connaît pas. Il ne faudrait pas non plus confondre l'émergence subjective avec l'émergence objective. L'eau n'est pas liquide parce qu'on l'observe (subjectivité). Certains caractères isolés comme la coévolution ne suffisent pas à définir l'émergence. La simulation par des agents – discipline expérimentale - se prête beaucoup mieux à la description de la complexité que l'utilisation d'équations dynamiques trop complexes et inappropriées au traitement de phénomènes aléatoires.

En ce qui concerne la mesure de la complexité aucune définition ne convient dans l'absolu, ni celle de KOLMOGOROV , ni celle de BENNETT.¹ Il n'existe pas de mesure convenable de la complexité à ce jour.

Pour la suite de l'exposé je renvoie nos lecteurs à l'article d'Hervé ZWIRN « Complexité, Emergence, Explication » publié dans le dernier bulletin (N°120). Hervé ZWIRN y traite de la différence entre effets homopathiques et hétéropathiques, du rôle de l'émergence diachronique , de la différence entre émergence objective et subjective, de la compréhension « forte » du phénomène...

Après cet exposé très exhaustif la séance est levée à 20 heures ,

Bien amicalement à vous,

Irène HERPE-LITWIN

¹ Voir conférence de Jean-Paul DELAHAYE (bulletin AEIS N° 111)

Comptes-rendus de la section Nice-Côte d'Azur

L'amour réel des hommes réclame nécessairement
l'accroissement responsable de la Science et le
développement maîtrisé des techniques.
Robert Dautray – Mémoires (2007)

Compte-rendu de la séance du 15 novembre 2007

(109^{ème} séance)

Présents :

Jean Aubouin, Richard Beaud, René Blanchet, Pierre Couillet, Patrice Crossa-Raynaud, François Cuzin, René Dars, Jean-Paul Goux, Jacques Lebraty.

Excusés :

Sonia Chakhoff, Guy Darcourt, Jean-Pierre Delmont, Yves Ignazi, Gérard Iooss, Maurice Papo, Jacques Wolgensinger.

1- Approbation du compte-rendu de la 108^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Le mois écoulé.

On évoque le plan d'aménagement de la plaine du Var qui fait l'objet d'un projet prioritaire. Les membres de l'Académie soulignent que l'Université de Nice Sophia Antipolis est très à l'étroit dans ses domaines niçois qui n'ont aucune possibilité d'extension. Mais il est souhaitable que les étudiants soient dans la ville et pour cela il faudrait profiter des terrains du centre de triage de la gare SNCF à St Roch. En revanche, on devrait développer les laboratoires de recherche dans la plaine du Var et assurer des dessertes simples et rapides entre Nice et Sophia Antipolis : cette technopole, la plus importante d'Europe, est trop isolée.

3- Prochain colloque.

Nous avons fourni au CUM une proposition écrite d'un cycle de conférences pour le deuxième semestre de 2008 sur « Qu'est-ce que la Science ? », de manière à ce qu'il soit inscrit dans le programme, avec les moyens financiers (invitations) correspondants. Mais il faut pour cela

fournir, avant la fin de l'année 2007, une liste des conférenciers avec les titres de leurs interventions.

Chaque séance pourrait faire dialoguer deux intervenants comme par exemple un égyptologue (Richard Beaud) et un astronome (Jean-Claude Pecker).

Quelques idées sont lancées au cours de la séance.

- A quoi correspondent, dans la conscience humaine, la découverte, la Science ?
- Les sciences de la nature se sont développées en réaction aux conceptions de Ptolémée.
- Il y a une notion de progrès dans la Science alors qu'il n'y en aurait pas, semble-t-il, dans l'Art ; mais ceci est discutable.
- Il y a un certain nombre d'activités actuelles qui s'affublent du nom de Science : la philosophie, les « sciences » humaines, la sociologie, la « science » économique qui était, il y a peu, l'économie politique.
- En biologie, nos confrères Michel Lazdunski et François Cuzin ont des approches différentes et leur confrontation serait intéressante.

- Pour Richard Beaud, le scientifique est d'abord quelqu'un qui est passionné par le réel : savoir comment tout cela fonctionne. D'où une science historique, une science du réel, etc. Mais aussi à quoi tout cela peut servir ? Donc l'application, le progrès. Le philosophe essaie de comprendre, d'où une relation étroite avec la Science dans sa première approche, alors que, pour le public et le politique, ce qui l'intéresse, c'est la deuxième approche, l'application. La Science révèle ce qui est caché dans la nature, ce qui existe déjà, ses irrégularités, et c'est en ce sens qu'elle intéresse la philosophie. Le scientifique est un découvreur, alors que le technicien est un créateur.

- Pierre Couillet : la Science est une instabilité.

- René Blanchet : la découverte scientifique n'a pas nécessairement des applications directes. C'est ainsi que la mise en évidence des nodules polymétalliques au fond des océans n'a eu aucune conséquence industrielle ; en revanche, elle a suscité des recherches qui ont abouti à la découverte des dorsales océaniques, de leur faune et ont eu des conséquences importantes sur l'industrie pétrolière.

- A l'origine, la technique a précédé la Science. C'est maintenant l'inverse.

- Jean Aubouin souligne qu'à l'inverse d'autres activités intellectuelles, les faits scientifiques ont raison sur l'idée qu'on en a et que la Science s'efforce alors de trouver d'autres faits venant éventuellement contredire les premiers. La Science doit être réfutable. C'est pour cela que les scientifiques prennent de grandes précautions avant de publier car leur réputation est engagée.

- Richard Beaud ajoute qu'il y a un rapport entre la Science et la civilisation. Comment se fait-il que des civilisations n'arrivent pas à donner naissance à une Science ? C'est ainsi que la civilisation arabe a donné naissance à une Science extraordinaire qui s'est interrompue brusquement au 16^{ème} siècle. La civilisation chinoise s'est développée avec une autre vision de l'homme, ce qui est très intéressant sur le plan philosophique.

- Pierre Couillet résume ainsi : si on définit la Science du passé comme une enquête sur les phénomènes de la nature, elle a atteint alors un niveau critique qui lui a permis de se diffuser, non du côté de Rome et de la chrétienté, mais en passant par le sud de la Méditerranée. Les Perses ne se sont pas contentés de traduire les ouvrages grecs, mais ils les ont complétés. C'est ainsi qu'Al Farisi, en 1300, a montré comment un rayon lumineux se diffracte dans une goutte d'eau. Al

Hassen est le père de la science de la lumière qui est la science fondamentale puisqu'elle a permis de construire la géométrie.

- Jean Aubouin fait remarquer que les idées changent parfois du fait des observations. Celles-ci ont donc une influence majeure. Il cite l'exemple de Becquerel qui avait oublié un morceau de pechblende dans un tiroir où se trouvaient des plaques photographiques qui furent voilées. D'où la découverte de la radioactivité.

L'observation est complétée par l'expérimentation.

- Richard Beaud : il faut parler du rapport Science et religion. Après avoir traduit les textes des temples égyptiens de l'époque ptolémaïque trois siècles avant J.-C., il a constaté que les Egyptiens d'alors se posaient les mêmes questions que nous aujourd'hui. Ils ont alors inventé des méthodes pour expliquer le monde, ce qui a donné naissance à nos sciences actuelles, mais bien sûr moins développées que les nôtres. Ce qui est très intéressant car ce n'est qu'à partir de leur science théologique, le monde, le cosmos, qu'est née la science. La Science se trouve dans le même enracinement générique. Il faudrait aussi donner une place aux mythes. La Science est venue de la démythification. Les mythes résultent d'une attitude pré-scientifique.

- Jacques Lebraty souligne qu'effectivement, on peut difficilement organiser ce cycle sans évoquer Science et religion ou Science et conscience.

- On pourrait contacter De Lumley ou Coppens qui essaient de déterminer, dans les objets et ossements trouvés au cours de leurs fouilles, à quel moment on se trouve en présence d'un homme, c'est-à-dire d'un être qui s'est posé la question de la mort.

- Pour les Grecs, la Science est inséparable de la sagesse.

Compte-rendu de la séance du 20 décembre 2007
(110^{ème} séance)

Présents :

Jean Aubouin, Richard Beaud, Sonia Chakhoff, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Paul Goux, Jacques Lebraty, Maurice Papo.

Excusés :

René Blanchet, Pierre Couillet, François Cuzin, Jean-Pierre Delmont, Yves Ignazi, Michel Lazdunski, Jean-François Mattéi, Jacques Wolgensinger.

4- Approbation du compte-rendu de la 109^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

5- Le mois écoulé.

Sonia Chakhoff qui a assisté à l'assemblée générale de l'AEIS à Paris nous met au courant de la préparation d'un colloque sur l'émergence.

Elle nous transmet les compliments de l'assemblée pour les activités de notre section.

René Dars et Patrice Crossa-Raynaud ont mis un point final à la préparation des actes de notre 8^{ème} colloque sur le climat qui ont été confiés à notre imprimeur. Parution en mars 2008.

Notre assemblée s'étonne du ton pris, ces derniers temps, dans la controverse sur les origines du réchauffement climatique qui fait penser aux pires moments du lyssenkisme.

Guy Darcourt nous fait remarquer que c'est une pratique courante en psychiatrie où les tenants d'une théorie accusent facilement les autres de malhonnêteté. Mais il s'agit d'une dérive, trop fréquente en psychiatrie, où la réflexion scientifique est remplacée par une position idéologique. C'est assez rare que, dans les sciences qui, par définition, doivent être réfutables, on en arrive à ces excès.

Pour persuader les gens que la thèse du GIEC est la seule bonne, on les menace de conséquences énormes (*cf* le film d'Al Gore) comme on le faisait jadis avec les enfants en les menaçant du grand méchant loup ... On en arrive à un point où même les actes les plus triviaux, comme de prendre des bains, de manger du bœuf ou de circuler en voiture, sont punissables.

L'estimation du réchauffement climatique est pourtant récente. Pour beaucoup, il est d'origine essentiellement humaine. L'homme est donc coupable et le progrès de la Science l'est avec lui.

6- Le point financier.

La subvention de la Mairie de Nice obtenue grâce à M. Lucien Barthe, ex-adjoint à la Culture, nous a permis de faire imprimer notre 7^{ème} colloque : « Entreprise et mondialisation ».

La somme qui nous reste ne permet pas de publier les actes du colloque sur le climat. Nous avons eu des promesses de la part de la Mairie comme du Conseil Général, mais il semble que tout soit actuellement suspendu aux prochaines élections municipales.

7- Prochain colloque.

Nous avons poursuivi l'échange de vue de la séance précédente.

Jean Aubouin rappelle que, dès l'origine, la Science a été condamnée puisqu'elle s'opposait aux croyances, aux mythes.

La Science a ainsi rencontré des obstacles : chez les Grecs –que l'on pense au mythe de Prométhée– mais surtout de la part du christianisme et la notion de « faute originelle » liée au fait d'avoir mordu dans le fruit de la connaissance. Tout un programme !

Toutes les religions sont-elles ainsi ? Qu'en est-il de la notion de faute dans le confucianisme, le taoïsme, le bouddhisme ? Et d'autres, sans doute, moins connues ?

Elle a commencé à retrouver sa place à la Renaissance et a connu ses triomphes depuis peu. En 1930, la médecine n'était guère supérieure à celle des Romains. Or, actuellement, on assiste à une mise en cause formidable de la Science qui serait responsable de tous nos maux.

Le sujet de notre colloque doit donc être *la* Science et non pas *les* sciences.

Or le risque que nous courrons est que les conférenciers parlent de leur science et pas de la Science. Il faudrait aussi insister sur le fait que la Science est réfutable.

La prétention de la Science à la vérité est liée à la réalité telle qu'on l'appréhende au moment où on la propose. Pas plus mais pas moins. Elle est inséparable du doute.

Maurice Papo nous a écrit par la suite : « Cette distinction a continué à me trotter dans la tête, et m'a soudain fait penser à l'analogie PPCM (plus petit commun multiple) et PGCD (plus grand commun diviseur) que l'on enseignait jadis en arithmétique ... d'où j'ai déduit sinon deux définitions, tout au moins deux pistes de réflexion.

1°) (piste PPCM) LA science est-elle l'ensemble DES sciences, ensemble ouvert bien entendu, puisque de nouvelles sciences apparaissent (telle l'informatique qui est maintenant reconnue comme "une" science après bien des conflits) au fur et à mesure des progrès de la connaissance, et après élimination des éléments doubles ? Si non, on peut alors se poser la question de savoir quelles seraient les "sciences" qui n'en font pas partie, et quels seraient les éléments qui en font partie sans être considérés comme une "science".

2°) (piste PGCD) LA science est-elle la partie commune à toutes LES sciences ? (méthodologie, approche, raisonnement, etc.)

A partir des réponses à ce qui précède, on peut tout imaginer au cours du colloque : peut-on étudier et faire progresser UNE science (faire de la recherche dans une science) en ignorant complètement LA science ?

Réciproquement peut-on étudier, comprendre, enseigner LA science sans obligatoirement faire référence AUX sciences ? Avec comme corollaire l'enseignement du "raisonnement" scientifique ! La pluridisciplinarité chère à notre académie est-elle partie prenante dans cette réflexion ?

Richard Beaud poursuit la discussion. Ce qui, pour moi, est intéressant, c'est bien évidemment *la* Science et pas *les* sciences.

Je souhaite poser les questions : « C'est quoi la Science ? » « C'est quoi penser scientifiquement ? » « A quoi correspond l'acte scientifique ? » « Qu'est-ce que comprendre ? » « Quand on énonce une loi scientifique, qu'est-ce que l'on dit, sachant que cela peut être contredit par la suite ? »

Maurice Papo : trois concepts : Science, vérité, compréhension, sont liés même s'ils sont, chacun, impossible à définir indépendamment.

Or, pour l'homme de la rue, la Science est quelque chose qui explique, qui fait comprendre, qui est vraie.

Ces trois concepts ont été utilisés par l'homme pour se soulager de quelque chose. Il a eu besoin de la Science pour avoir le confort de la certitude dans un domaine et donc la compréhension. Il s'est inventé une certaine forme d'histoire pour avoir la certitude du passé.

Richard Beaud : le but de la Science ne serait-il pas de donner à l'homme des certitudes que la religion ne lui donne plus ? N'est-elle pas une nouvelle religion ?

Le monde moderne saura-t-il inventer des lieux dans lesquels l'homme puisse trouver les certitudes que le monde actuel ne lui donne plus ?

Le seul lieu, pour moi, où le monde puisse donner des certitudes est la philosophie au sens lointain du terme : apprendre à vivre.

René Dars : la Science se situe au niveau du « comment » et pas au niveau du pourquoi.

Trop souvent le scientifique glisse vers le pourquoi.

Mais la Science mérite un certain respect puisque nous vivons le « comment ».

Guy Darcourt souhaite qu'avant le 11 janvier nous puissions fournir au CUM une proposition concrète d'exposés sur notre prochain cycle de conférence qui devrait débuter en octobre 2008 à 18 heures un jour fixe.

Patrice Crossa-Raynaud : nous avons déjà envisagé un exposé introductif de Jean-François Mattéi et Pierre Couillet sur l'origine de la Science.

Richard Beaud devrait suivre avec les interrogations qu'il a exprimées ici en association avec M. Jean-Claude Pecker (astrophysicien) sur les origines.

Pourrait venir ensuite un dialogue Cuzin-Lazdunski.

Mais il faudrait aussi reprendre les idées de Maurice Papo.

Il conviendrait donc d'obtenir l'accord de 2 ou 4 autres conférenciers avant notre prochaine séance.

Cette discussion et celle du mois précédent illustrent parfaitement la pertinence de la manière dont nous préparons nos colloques.

8- Questions diverses.

Richard Beaud : Psychanalyse, tragédie, religion.

A propos d'une conférence donnée au CUM le 9 octobre 2007 par le Pr. Yvon Brès. Le conférencier fut présenté par le Pr. Guy Darcourt. Conférence extrêmement intéressante ouvrant à plusieurs pistes de réflexion. En voici les lignes essentielles. Après un premier point où le conférencier présente une bibliographie récente sur ces questions, (signalons le livre d'Alain Juranville, *L'événement*), puis un deuxième point où il présente un rapide parcours du problème de la culpabilité dans l'œuvre de Freud, dans un troisième et quatrième points, il analyse le couple faute-culpabilité dans la tragédie grecque et dans le judéo-christianisme. Ce sont ces deux derniers points surtout qui méritent notre attention. La culpabilité et la faute sont partout présentes dans la

tragédie grecque (Eschyle, Euripide, Sophocle). Elles se trouvent liées à une transgression d'un interdit. Le héros porte les conséquences de cette transgression, il souffre ; donc il y a le couple faute-souffrance. Freud met en relation ce couple avec le complexe d'Œdipe, fidèle à son explication bien connue de la culpabilité. Tout autre est l'explication de Jean-Pierre Vernant. Cet auteur voit dans la tragédie l'invitation adressée au spectateur de ne pas dépasser la mesure. C'est le célèbre « Connais-toi toi-même ». L'homme n'est qu'un homme. Qu'il ne se prenne pas pour un dieu ! La tragédie qui met en scène la démesure des hommes, démontre en fait le malheur auquel il s'expose quand il oublie sa condition. Ces deux explications intéressantes mettent bien en évidence la souffrance qui découle de la faute. Cette souffrance est due à une punition, pour les deux théories. Alors se pose, pour le conférencier, le problème du but de la tragédie pour les Grecs. Si Freud y voit un moyen de purger le spectateur des effets nocifs des passions, et si Vernant penche pour l'explication philosophique que nous venons de rappeler, il ne faut pas, dit le conférencier, oublier la troisième orientation d'ordre religieux. Déjà chez les Grecs la souffrance, conséquence d'une faute, est orientée vers la réconciliation. Le héros devient un bouc émissaire qui porte la faute et la cité est réconciliée. Les Erynies vengeresses, qui poursuivent de leur colère Oreste, qui a tué sa mère sur l'ordre d'Apollon, acceptent de se transformer en « bienveillantes » (Euménides), pourvu qu'elles aient à Athènes un lieu de culte. Donc explication intéressante concernant le but de la tragédie grecque. Ce qui est visé, c'est la réconciliation de la cité dont l'équilibre est toujours fragile vu la violence qui habite le cœur de l'homme.

Le binôme faute-réconciliation (rédemption) est au cœur du judéo-christianisme. Les notions de culpabilité, faute, péché originel, péché actuel sont des thèmes théologiques fondamentaux. Le conférencier renvoie aux textes de saint Paul et à saint Augustin. Puis il résume rapidement notre modernité affinée par les connaissances psychanalytiques en matière de culpabilité et les connaissances provenant des données de l'histoire des religions, en disant qu'aujourd'hui on est, de ce fait, amené à minimiser l'importance des notions de péché et de rédemption. Néanmoins la théologie tient à la pertinence de son discours. Une issue est-elle alors en mesure de permettre de sortir de cette impasse ? L'auteur cite Paul Ricoeur qui ouvre une voie intéressante. « Le chrétien, dit ce philosophe, ne croit pas au péché, il croit à la rémission des péchés ». Le conférencier comprend que le judéo-christianisme aurait inventé le péché pour pouvoir instaurer ce dispositif magique ou religieux destiné au salut du monde. Le judéo-christianisme : invention en vue d'aider l'homme à vivre avec sa culpabilité ! D'ailleurs la tragédie grecque et le judéo-christianisme ont, dit-il, les mêmes ingrédients de base : la souffrance et les fautes et ils poursuivent un but semblable : la réconciliation à l'intérieur de la cité, pour la tragédie grecque, et la prospérité du peuple juif, élargie ensuite au salut de l'humanité, pour le judéo-christianisme, car le « héros » judéo-chrétien « assume » l'ensemble des fautes commises par tous.

Pour le conférencier ce système judéo-chrétien a bien fonctionné, mais aujourd'hui, compte tenu de nos connaissances en matière psychanalytique et d'histoire des religions, ça ne marche plus, d'autant plus que, pour lui, le judéo-christianisme a marqué la civilisation occidentale d'un trait spécifique que, faute de mieux, dit-il, on peut appeler « l'individualisme ». Alors, il se pose la question : « Le monde actuel et celui de demain ne pourraient-ils pas inventer, ou simplement développer une sorte de prise en charge symbolique, magique ou religieuse de la souffrance des hommes en vue d'un avenir meilleur » ? L'auteur voit s'esquisser en ce sens un éventuel nouveau chemin dans les gestes de reconnaissance, de la part du pape, de la responsabilité de l'Eglise dans les massacres de l'Inquisition, ou de la responsabilité de la France, par le président de la République, dans la déportation des juifs en 1942 ou dans les crimes de la colonisation. Ces gestes ont une haute valeur symbolique. Pour le conférencier, « Nous assistons déjà à des prises de responsabilité plus subtiles. Elle échappent à l'alternative de la déculpabilisation et de la vengeance parce qu'elles sont collectives et parce qu'elles ne comportent pas de punition ».

Cette conférence est remarquable, il y a matière à dialogue et à échange. Pour ma part, je pose trois questions : 1. Selon l'auteur de la conférence, compte tenu de l'état de nos connaissances scientifiques, il semble évident que le système que présente le judéo-christianisme n'est plus

opérateur. Ne sommes-nous pas, avec cette position, devant un nouveau scientisme ? 2. Ce que l'auteur, avec Freud appelle « culpabilité » désigne un état de faute de la part de l'homme. L'homme se sent « coupable ». Heidegger avec sa distinction entre « l'ontique » et « l'existential », ne permet-il pas de sortir de cette impasse ? « L'être-échu » ou « l'échéance » dont il parle, au niveau « existencial », ouvre des perspectives que la psychanalyse ne devrait pas ignorer. 3. N'est-ce pas un peu rapide de réduire le judéo-christianisme, quant à sa théologie du « salut » dont parle saint Paul, à un pur « individualisme » ? Parler de ces questions implique une forte connaissance de la théologie et de l'exégèse biblique.

Disparition de Michel Crozon



Aux collègues attentifs, aux amis de toujours.

Michel Crozon est décédé vendredi 11 janvier 2008 d'un cancer. Une bénédiction aura lieu à l'Eglise de Montreuil mardi 15 janvier à 10h30 suivie de l'inhumation qui se fera au cimetière. A la demande de Michel, une salle a été retenue près de l'église pour réunir famille et amis. On peut y aller soit après la bénédiction, soit après l'inhumation.

Saisie par la brutalité du décès de notre ami Michel Crozon, nous ne pouvons exprimer que regrets et soutenir de toute notre affection Marie Jo Crozon et ses enfants dont il parlait avec fierté. Nous perdons vraiment un ami de toujours, un administrateur engagé, un conseiller chaleureux et vigilant pour le développement de la culture scientifique et technique et de l'éducation populaire. Particulièrement pour les deux associations dont il était administrateur : l'association des Petits Débrouillards et le CIRASTI, porteur des exposciences qu'il aimait tant.

Je n'oublierai pas qu'il fut à l'origine de la Fête de la Science au cabinet de Hubert Curien et de beaucoup d'autres initiatives que vous connaissez bien. Il a été aussi un conférencier plein de talent pédagogique et un excellent écrivain... homme de conviction, il était fidèle à ses idées depuis qu'il avait lancé l'opération "Physique dans la Rue" en 1973 à Aix en Provence : " montrer avant de discuter, toucher, manipuler, éviter les boites noires, dialoguer par petits groupes, encourager les remises en question, les discussions, les démystifications »

Il était la dignité même, il nous appartient désormais de continuer à porter haut la flamme d'une vision humaine et partagée de la culture scientifique et technique.

Stéphane Tirard

Centre François Viète d'histoire des sciences et des techniques

Faculté des sciences et des techniques de Nantes

2 rue de la Houssinière

BP 92 208

44322 Nantes CEDEX 3

Tél : 33 (0)2 51 12 57 87

Fax : 33 (0)2 51 12 57 86

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/cfv/>

Nous annonç

Colloque

DEFINIR LA VIE

4 et 5 février 2008

Grand amphithéâtre du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Inscription souhaitée : exobio.histphilo@gmail.com

Organisé par

Jean Gayon, Christophe Malaterre, Michel Morange, Florence
Raulin-Cerceau, Chloé Terras et Stéphane Tirard

Dans le cadre du programme d'Etudes historiques et philosophiques sur l'exobiologie
du PID Origines des Planètes et de la Vie du CNRS.

Equipe REHSEIS (Paris, UMR 7596), IHPST (Paris, UMR 8590),
Centre Koyré (Paris, UMR 8560) et Centre François Viète (Nantes, EA 1161).

Lundi 4 février	
9h00-9h30	Accueil des participants
9h30-9h45	Ouverture du colloque
9h45-10h25	Conférence inaugurale par François Gros (Institut de France)
10h25-11h05	Marie-Christine Maurel (Université Paris VI, France) <i>"Life as a concept and as a material subject"</i>
11h05-11h20	Pause
11h20-12h00	André Brack (Centre de Biophysique moléculaire, CNRS, Orléans, France) <i>"Life as approached by an exobiologist chemist"</i>
	Pause pour le déjeuner
14h00-14h40	Jacques Reisse (Université Libre de Bruxelles, Académie Royale de Belgique) <i>"Why to define life ?"</i>
14h40-15h20	Kepa Ruiz Mirazo (Université du Pays Basque, Espagne) <i>"Defining life: why, how and what for?"</i>
15h20-16h00	1ère table ronde animée par François Raulin (Université Paris 12, France) <i>"Why Defining Life?" / "Pourquoi définir la vie ?"</i> André Brack, François Gros, Marie-Christine Maurel, Kepa Ruiz Mirazo, Juli Pereto (Université de Valence, Espagne), Jacques Reisse, Jean Schneider (Observatoire de Meudon).
Mardi 5 février	
9h15-9h55	Antonio Lazcano (Université de Mexico, Mexique, Président de l'ISSOL,) <i>"The origin and nature of first life"</i>
9h55-10h35	Radu Popa (Université de l'Etat de Portland, USA) <i>"Defining the living state via understanding early stages in its evolution"</i>
10h35-10h55	Pause
10h55-11h35	Marc Bedau (ProtoLife SRL et ECLT, Venise, Italie). <i>"A roadmap to minimal chemical life"</i>

11h35-12h15	<p>Bruce Weber (Université de l'Etat de Californie, USA)</p> <p><i>"Defining the living state via understanding early stages in its evolution"</i></p>
	Pause pour le déjeuner
14h00-14h40	<p>Pier Luigi Luisi (Université de Rome 3, Italie)</p> <p><i>"Defining life : a phenomenological, common sense approach"</i></p>
14h40-15h20	<p>Patrick Forterre (Institut Pasteur - Paris, France)</p> <p><i>"Life definition : the virus viewpoint"</i></p>
15h20-16h00	<p>Michel Morange (ENS et IHPST, Paris, France)</p> <p><i>"The resurrection of life"</i></p>
16h00-16h20	Pause
16h20-17h00	<p>2ème table ronde animée par Michel Morange</p> <p><i>"Can a unique definition of life be formulated?" ("Peut-on formuler une définition unique ?")</i></p> <p>Marc Bedau, Hugues Bersini (Université Libre de Bruxelles, Belgique), Patrick Forterre, Antonio Lazcano, Pier Luigi Luisi, Alvaro Moreno (Université du Pays Basque, Espagne), Radu Popa, Bruce Weber.</p>
17h00-17h30	Synthèse des travaux par Jean Gayon (Université Paris I, France)

Inscription

- Membres du Gettec : **gratuit**
- Non membres : **50 euros**

Renseignements et inscriptions obligatoires limitées à 130 places auprès du secrétariat des enseignements du Centre Alexis Vautrin :

Arlette HAFFNER : a.haffner@nancy.fnclcc.fr
ou

Claudine PIETRUCHA : c.pietrucha@nancy.fnclcc.fr

Centre Alexis Vautrin
Avenue de Bourgogne
54511 VANDOEUVRE LES NANCY

Tél. : 03 83 59 83 19

Fax : 03 83 44 60 71

Plan d'accès et informations supplémentaires :
www.gettec.fr et www.alexisvautrin.fr

Accès en TGV depuis
Paris en 1h30 et
accès direct de la
gare au CAV en Tram

Programme définitif

GETTEC

Group
d'Étude
des Tumeurs
Tête Et Cou

1^{er} Symposium scientifique GETTEC

> Innovations scientifiques et
thérapeutiques péri chirurgicales

> 21 Mars 2008

> Centre Alexis Vautrin
NANCY

Avec le soutien de **MERCK SERONO**
Avec le soutien de la **SFCO**



Coupon réponse

A renvoyer avant le 10/03/2008

Nom : _____

Prénom : _____

Fonction : _____

Etablissement : _____

Tél. : _____ Mail : _____

- Participera au symposium du 21 mars 2008
- Je suis membre du Gettec
- Je ne suis pas membre du Gettec et je vous joins un chèque de 50 euros

1^{er} Symposium scientifique GETTEC - programme définitif

GETTEC

> Innovations scientifiques
et thérapeutiques périchirurgicales

21 Mars 2008 - Nancy
de 9h45 à 18h00

Salle 132 - Centre Alexis Vautrin



Matin

Introduction

9h45 G. Dolivet (Centre Alexis Vautrin - Nancy)

Caractéristiques cellulaires et humorales des cavités opératoires

10h00 S. Evrard (Institut Bergonié - Bordeaux)

Anomalie moléculaires des cellules dans les marges d'exérèse chirurgicale

10h30 S. Yamam (IGR - Villejuif)

Futurs produits utilisables en thérapie ciblée

11h00 JP. Machiels (Clinique St Luc UCL - Bruxelles)

Cellules tumorales circulantes per opératoire

11h30 F. Penault-Lorcia (Centre Jean Perrin - Clermont-Ferrand)

Repas

12h00 - 14h00

Après-midi

Curie thérapie per et peri-opératoire

14h00 M. Lapeyre (Centre Jean Perrin - Clermont-Ferrand)

Chimiothérapie per opératoire, résultats historiques

14h30 F. Peyrade (Centre Antoine Lacassagne - Nice)

Intérêts théorique des thérapie ciblées pré et per opératoires

15h00 F. Peyrade (Centre Antoine Lacassagne - Nice)

Thérapie génique per opératoire

15h30 JL. Merlin (Centre Alexis Vautrin - Nancy)

Photo thérapie dynamique per opératoire

16h00 F. Guillem (Centre Alexis Vautrin - Nancy)

Traitements locaux per opératoire, exemple des CHIP et de la radiofréquence

16h30 F. Marchal (Centre Alexis Vautrin - Nancy)

Schéma de traitement peri opératoire et plateau technique du futur

17h00 Table ronde des orateurs

GETTEC

Group
d'Étude
des Tumeurs
Tête Et Cou

1^{er} Symposium scientifique GETTEC

A
affranchir
au tarif en
vigueur

Secrétariat des enseignements
Centre Alexis Vautrin
Avenue de Bourgogne
54511 VANDOEUVRE LES NANCY
France

21 Mars 2008 - Nancy

Documents

Pour préparer les conférences de Christophe MALATERRE et Hugues BERSINI nous vous proposons :

P. 22 : «*Origine de la Vie* » par Christophe MALATERRE

P. 24 : « *Les phénomènes émergents appartiennent au seul domaine de la vie* » par Hugues BERSINI

Origine de la vie

Par Christophe MALATERRE

(Version traduite et partiellement modifiée d'un texte à paraître dans Bix, James (ed.)
Encyclopedia of Time, SAGE Publications, Thousand Oaks)

La vie est vraisemblablement apparue sur Terre il y a quelques 3,8 milliards d'années. Cette datation est encadrée d'un côté par la formation même de la Terre il y a 4,5 milliards d'années et les nombreux bombardements météoritiques qu'elle reçus jusqu'à environ 4 milliards d'années, et de l'autre par les plus anciens fossiles cellulaires jamais identifiés remontant à 3,6 ou peut-être même 3,8 milliard d'années. La fenêtre temporelle disponible pour l'apparition de la vie sur Terre serait donc longue de 200 à 400 millions d'années.

L'origine de la vie peut être définie comme le point dans le temps où, pour la première fois sur Terre, un système physique particulier s'en trouve doté d'un ensemble de propriétés spécifiques, celles de réplication et de variation si telle est la définition de la vie que l'on a retenue. Car à chaque définition de la vie est en droit de correspondre une origine particulière de la vie. Ainsi par exemple, une définition de la vie qui exigerait d'un système physique d'être capable non seulement de réplication et de variation mais également d'accomplir au moins un cycle thermodynamique placerait vraisemblablement l'origine de la vie plus proche de nous que ne le ferait la définition sur la base de réplication avec variation.

Par ailleurs, définir la vie sur la base d'un ensemble de propriétés devant être possédées par tout organisme vivant, pose aussi la question de l'ordre temporel d'apparence de chacune de ces propriétés : par exemple, est-ce la réplication ou la variation qui serait apparue en premier ? Cette question a suscité de nombreux débats et continue à le faire. Mais surtout elle indique que si la vie est effectivement un ensemble de propriétés collectives graduellement réunies, alors la question de son origine se fragmente en autant d'origines qu'il y a de propriétés, chacune de ces propriétés étant elle-même instanciée par des systèmes physiques dont l'apparition terrestre est à justifier, qu'il s'agisse de peptides, d'acides nucléiques ou de composés lipidiques, chacun de ces éléments rentrant aujourd'hui dans la constitution de tout organisme vivant. L'origine de la vie s'efface devant les origines de la vie.

Les premières hypothèses contemporaines sur les origines de la vie ont été formulées dans les années 1920 à la fois par Alexander Oparin et John B. S. Haldane, séparément : les premiers systèmes vivants seraient apparus dans un océan primordial de molécules organiques, la « soupe prébiotique », ces molécules résultant elles-mêmes de processus physico-chimiques prébiotiques, autrement dit de processus compatibles avec les conditions physico-chimiques de la Terre primitive avant que n'apparaisse la vie. Les premières expériences chimiques qui étayaient ces hypothèses sont celles d'Arthur Miller en 1953 qui démontre la possibilité de synthétiser certaines molécules organiques, des acides aminés, dans des conditions prébiotiques. Depuis, de nombreuses autres molécules organiques ont également été synthétisées dans des conditions retenues comme étant prébiotiques, et leurs comportements étudiés, qu'il s'agisse de protéines, de lipides ou d'acides nucléiques. Aujourd'hui la recherche sur les origines de la vie repose sur la contribution de nombreuses disciplines, qu'il s'agisse de la biologie moléculaire, de la biochimie, de la chimie prébiotique, de la biologie théorique, mais aussi de la planétologie, de la géologie ou même de l'astronomie lorsqu'il s'agit par exemple de définir les conditions environnementales de la Terre primitive ou de rechercher des formes de vie alternatives ailleurs dans l'univers.

Loin d'avoir une origine unique représentée par un point temporel, un événement soudain à l'échelle humaine, la vie est vraisemblablement apparue graduellement comme le résultat d'un processus long de plusieurs centaines de millions d'années. Bien entendu, la question demeure de savoir s'il s'agit là d'un processus continu ou si au contraire il est parsemé de sauts qualitatifs, de transitions de phase qui pourraient alors servir de repères particuliers pour une définition de la vie. Les échelles de temps en question conduisent à considérer un ensemble de processus physico-chimiques plus étendu que d'habitude, par exemple des réactions chimiques avec des temps caractéristiques bien plus longs

qu'habituellement étudié en laboratoire ou des conditions environnementales très différentes (température, pression, pH etc.).

Sur de telles échelles de temps, il se peut également que la chance ait joué un rôle non négligeable, provoquant par exemple des rencontres moléculaires très peu probables à notre échelle humaine ou autorisant des assemblages et désassemblages de composants cellulaires de toutes sortes. La vie telle que nous la connaissons aujourd'hui sur Terre garderait alors en elle, comme figées dans la structure et les composants des systèmes vivants actuels, les traces de ces événements fortuits, de ces bricolages accidentels. La vie serait alors un processus historique par excellence.

La vie telle que nous la connaissons sur Terre pourrait également être une instantiation particulière d'un phénomène vital plus général. Cette hypothèse est une des hypothèses fondatrices de la recherche en vie artificielle qui cherche à caractériser ce phénomène vital général, notamment sans les contraintes de la chimie du carbone. Qui plus est, la vie est peut-être également apparue en plusieurs endroits de l'univers. L'exobiologie s'intéresse tout particulièrement à la recherche de traces du vivant au-delà de la Terre, au sein du système solaire comme en dehors. Une telle découverte non seulement serait stupéfiante mais obligerait aussi de se poser la question de la vie sous un autre angle, celle de « l'origine des origines » de la vie et, qui sait, celle de son existence à travers les âges et le cosmos, une ancienne théorie connue sous le nom de panspermie. Qui plus est, la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui pourrait très bien ne pas être la même que la vie des origines, ni d'ailleurs identique à la vie de l'avenir. La vie telle que nous la connaissons sur Terre aujourd'hui pourrait tout à fait ne pas être identique à la vie ailleurs, dans le temps et l'espace.

La vie pourrait-elle continuer à apparaître sur Terre en ce moment précis ? Une telle possibilité transformerait alors l'origine de la vie en un processus récurrent, qui continuellement générerait en quelque sorte de nouvelles origines. Une telle hypothèse apparaît cependant peu probable : non seulement elle exigerait la présence de processus chimiques abiotiques, c'est-à-dire de processus chimiques capables de produire des molécules organiques sans faire appel à des composés en provenance d'organismes vivants actuels, mais également requerrait des processus physico-chimiques capables d'assembler ces molécules organiques abiotiques en de nouveaux systèmes vivants. Il apparaît cependant extrêmement probable que les molécules organiques synthétisées abiotiquement soient tout simplement assimilées par des organismes vivants actuels qui verraient en elles des sources nouvelles de composés structurels ou d'énergie à bon compte. La vie empêcherait alors en quelque sorte à la vie d'apparaître à nouveau.

Pistes de lecture

Bernal, J.D. (1951). *The Physical Basis of Life*. London: Routledge and Kegan Paul.

Brack, A. (1999) ed., *The Molecular Origins of Life: Assembling Pieces of the Puzzle*. Cambridge: Cambridge University Press.

De Duve, C. (1995). *Vital Dust: The Origin and Evolution of Life on Earth*. New York: Basic.

Eigen, M. (1992). *Steps Towards Life: A Perspective on Evolution*. Oxford: Oxford University Press.

Fry, I. (2000). *The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview*. New Brunswick NJ: Rutgers University Press.

Maurel, Marie-Christine (2003), *La naissance de la vie*, Paris: Dunod.

Morange, Michel (2003), *La vie expliquée ; 50 ans après la double hélice*, Paris: Odile Jacob.

Popa, R. (2004). *Between Chance and Necessity: Searching for the Definition and Origin of Life*. Heidelberg: Springer-Verlag.

LES PHENOMENES EMERGENTS APPARTIENNENT AU SEUL DOMAINE DE LA BIOLOGIE

Hugues BERSINI et Christophe PHILEMOTTE

IRIDIA-CoDE

Université Libre de Bruxelles

CP 194/6 ULB,

50 avenue F.D. Roosevelt,

B-1050 Bruxelles,

Belgique

Bersini@ulb.ac.be

<http://iridia.ulb.ac.be/bersini/>

cphiemmo@iridia.ulb.ac.be

<http://iridia.ulb.ac.be/~cphilemo/>

Résumé: Cet article plutôt philosophique discute des trois ingrédients nécessaires pour pouvoir qualifier d'émergent un phénomène collectif. Primo, comme d'habitude, il faut que le phénomène comprenne un groupe d'agents interagissant non-linéairement et occasionnant l'existence de deux descriptions sémantiques dépendant de l'échelle d'observation. Secundo, ce phénomène doit être observé par un observateur mécanique plutôt qu'humain, qui ait la capacité naturelle d'intégration spatiale et/ou temporelle. Finalement, pour cet observateur naturel, il importe de détecter et de sélectionner ce phénomène collectif en considération de la valeur adaptative fournie par ce phénomène. La présence de la sélection naturelle nous conduit à défendre avec de nombreux auteurs, l'idée que seule la biologie possède des phénomènes émergents. Après une brève argumentation philosophique, nous présentons une expérience élaborée sur ordinateur, simple et illustrative dans laquelle une société d'agents élabore un comportement collectif stigmergique² résultant de l'accroissement de sa valeur adaptative. Les trois ingrédients sont discutés et illustrés dans le cas de ce contexte expérimental.

Mots clés : Emergence, Sélection naturelle

1 Introduction

« Le tout est plus que la somme de ses parties » est une expression qui continue à alimenter des débats acharnés dans de nombreux cercles scientifiques. Alors que de nos jours, tout scientifique s'accorde sur le fait que deux observateurs scientifiques (appelons les, Mic Jim – le micro-observateur et Mac Jim – le macro-observateur) qui observent le même phénomène collectif mais à des échelles spatio-temporelles différentes, sont censés le qualifier d'émergent (par exemple Mic Jim voit et connaît les règles du jeu de la vie tandis que Mac Jim ne voit que le mouvement du « glider -glisseur » (1.2) , le principal désaccord repose sur le statut de Mac Jim. Quel est son rôle, sa « raison d'être » ? Cette observation atteste-t-elle d'une quelconque réalité externe, ou bien se réduit-elle à une fonction épistémologique, une compression mentale, qui résumerait ce qui se déroule réellement au dehors en augmentant le temps et/ou l'échelle d'observation du phénomène ? Dans ce second cas, et selon de nombreux auteurs, , la situation de Mac Jim est considérablement affaiblie puisque tout ce qu'il voit et décrit peut être complètement anticipé et complètement retrouvé par Mic Jim , après quelque intégration spatiale et temporelle. Mic Jim prend la tête du comité scientifique ; il est le seul à posséder une connaissance complète et fidèle du phénomène, il peut expliquer ce qui est observé par son collègue et

² La [stigmergie](#) est la stimulation des agents collaborant à une tâche par le résultat,

l'inverse n'est pas possible. Le réductionnisme est le gagnant et il est la seule vraie voie du progrès scientifique.

Bien que certains auteurs (3,4) veuillent maintenir séparés une version faible de l'émergence (épistémique) d'une version forte (ontologique), de façon à mettre en exergue ce qui est réellement nécessaire pour qu'il y ait une émergence forte, la seule intéressante à nos yeux, nous ne voyons pas pourquoi l'émergence faible ne continuerait pas à mériter notre considération. Prenons par exemple la reine des sciences, la physique, Mac Jim observant le « glisseur » dans le jeu de la vie, se comporte classiquement de la même manière qu'en observant l'entropie d'un système isolé ou les ellipses décrites par les planètes dans le ciel. Un accroissement de température ou d'entropie semble être plus que la somme de particules, agitées de manière aléatoire et intensive, mais la physique prétend qu'il n'en est rien. Les ellipses planétaires semblent être plus que la combinaison de la force de gravitation et de la vélocité inertielle originelle de la planète, mais une fois de plus, la physique dit qu'il n'en est rien. Bien que deux prix Nobel de physique (5,6) aient déclaré ces dernières années percevoir dans l'« émergence » la source d'un nouveau glissement de paradigme en physique, les arguments convaincants font toujours défaut. Alors qu'en est-il de la seule considération de l'émergence forte, tout en restant complètement imperméable à tout mysticisme, dualisme ou vitalisme ? Nous pensons que pour restituer son statut ontologique à l'émergence, l'avancée-clé consiste à substituer à Mac Jim son double naturel (mécanique). La portée scientifique se fortifie en écartant de plus en plus la part jouée par l'observation humaine dans la caractérisation des phénomènes observés. Nous pensons également que pour l'observateur naturel, la détection d'un phénomène collectif naturel, nécessite une sélection en prime de son avantage adaptatif. Puisque l'unique filtre sélectif permis par la science est celui de la sélection Darwinienne, cela justifie la raison pour laquelle dans cet article nous croyons avec d'autres (7-10) que seule la biologie et sa théorie de la sélection naturelle peut permettre l'existence d'un phénomène émergent sans aucun Mac Jim pour le détecter. Un phénomène finira par émerger dans un système une fois qu'il aura été observé et détecté par un observateur mécanique globalisant en fonction de l'avantage adaptatif procuré au système. Dans le reste de la publication, nous défendrons cette idée et nous en fournirons une simple illustration par le biais d'une expérience computationnelle d'émergence dans des sociétés d'insectes.

2 Les ingrédients –clés de l'émergence biologique

L'image montrée dans la figure 1 est issue du projet « *European Swarm-bots* » qui a été coordonné dans notre laboratoire (11). Largement inspiré par l'aptitude de certaines espèces d'insectes (comme les fourmis) à s'associer pour accomplir des tâches qu'aucun d'entre eux ne pourrait accomplir seul, ce projet traite de petits robots qui se connectent les uns aux autres pour en faire de même. Par exemple, dans l'image n°1, vous pouvez également voir deux robots qui en étant solidaires et connectés peuvent passer au-dessus d'un fossé dans lequel n'importe lequel tomberait s'il essayait de passer tout seul. On pourrait être tenté de déclarer que passer au-dessus de ce fossé est un comportement émergent puisqu'il nécessite un groupe de robots. Cependant en étant techniquement ainsi conçu, nous considérons que ce n'est pas le cas puisqu'il faut, pour y aboutir, un observateur, humain et ingénieur à la fois, pour concevoir ce comportement et adapter les pièces les unes aux autres (en l'occurrence, les robots). La conception a lieu avec une vision de haut-en-bas (top-down) tandis que la biologie a lieu avec une vision de bas-en-haut (bottom-up) et, à vrai dire, le véritable phénomène biologique qui inspire cette version d'ingénierie est réellement émergent. Il en est ainsi pour deux raisons. Tout d'abord tout phénomène émergent nécessite un observateur naturel capable d'intégrer ce phénomène dans l'espace et le temps. Ici, aussi surprenant que cela puisse paraître, ce rôle est endossé par le fossé, qui « observe » et « donne du sens » au phénomène. En fait nous sommes d'accord avec Yaneer Bar Yam (4) pour dire que toute définition de l'émergence nécessite la présence de deux réalités complémentaires : le phénomène émergent et un environnement source de l'émergence du phénomène, en l'occurrence le fossé. Cependant nous nous sentons moins à l'aise avec le meilleur exemple d'émergence qu'il propose en tant que chaîne de bits incluant celle de « parité ». Son exemple favori présente trop un parfum de vision de « haut-en-bas » (Top-down) et d'ingénierie.

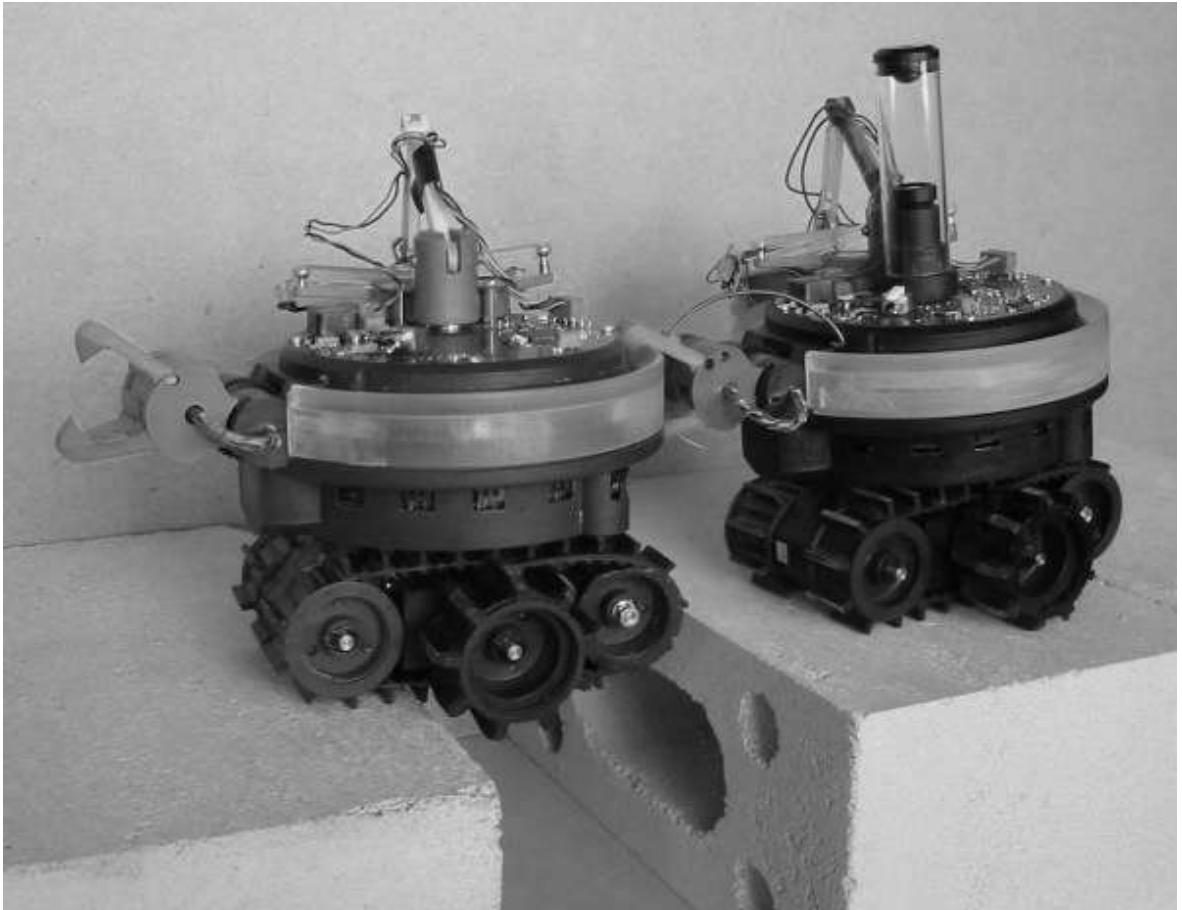


Figure 1 : *deux robots traversant un fossé*

Le second ingrédient requis pour qualifier d'émergent un phénomène justifie pourquoi et au sein de quel contexte non-humain l'observateur mécanique détecte le phénomène et lui donne du sens. En biologie la sélection naturelle est à l'œuvre. L'observateur détecte et sélectionne le phénomène parce qu'il procure au système dans lequel se manifeste ce phénomène un avantage adaptative, qui est souvent un moyen plus économique ou plus robuste pour accomplir une tâche. Ici, les insectes doivent passer par-dessus le fossé puisque la chute leur est tout simplement fatale. Aucun ingénieur n'appréciera une destinée semblable pour ses robots même si, en tant que réminiscence d'une émergence réelle, quelques algorithmes révolutionnaires aident souvent à réaliser la tâche collective. Comme l'illustre la figure n°2, l'émergence apparaît en croisant ces trois acteurs : le phénomène collectif en soi, l'observateur mécanique, et la sélection naturelle. Un seul d'entre eux fait défaut et tout s'effondre, ramenant l'émergence à sa version faible et peu originale.

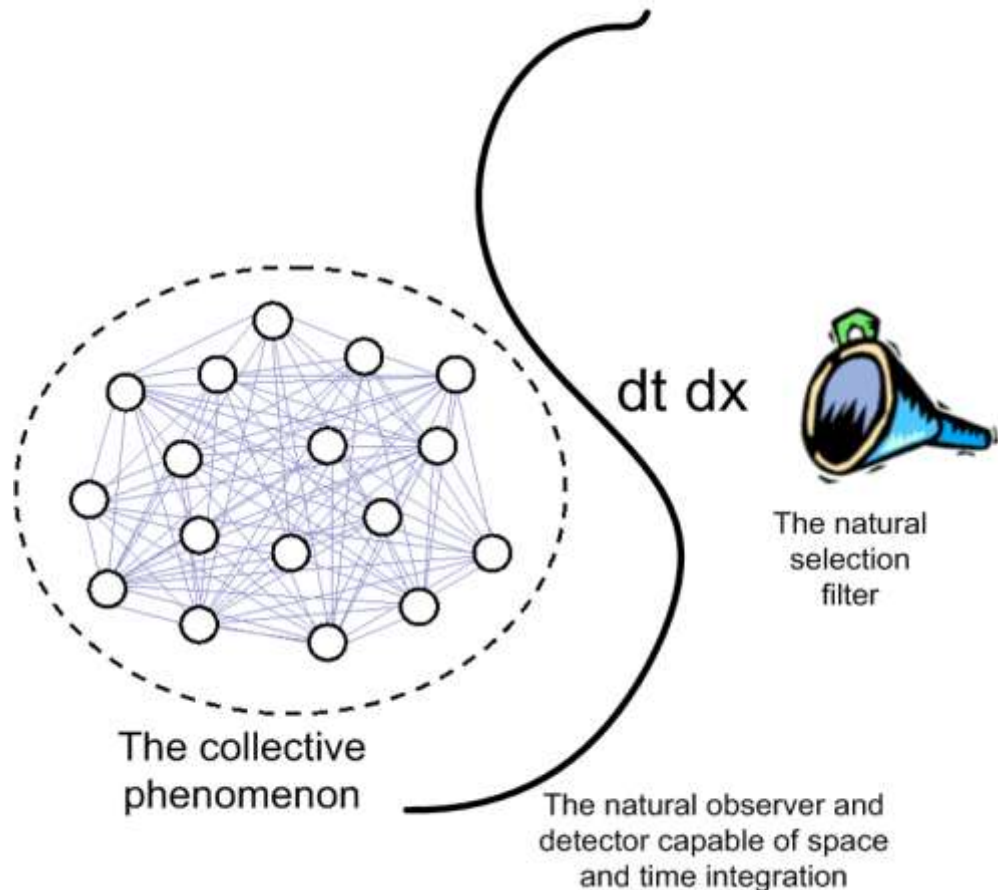


Figure n°2 : Les trois ingrédients nécessaires pour qualifier un phénomène d'émergent

Nous avons déjà eu l'occasion dans des articles précédents (12) de reconnaître notre dette intellectuelle vis-à-vis d'auteurs comme Jim Crutchfield (13,14) et Peter Cariani (10) dans notre mécanisation de Mac Jim, l'addition de la sélection naturelle dans l'ensemble du tableau marche avec le concept de Maynard Smith et Szathmari de « transitions évolutives majeures » (9) et l'« hypothèse de synergisme » de Peter Corning (15). Cette dernière défend l'idée selon laquelle « des effets synergiques variés ont joué un rôle causal majeur dans le processus d'évolution, essentiellement grâce à l'avantage fonctionnel (principalement en terme économique) apporté par ces effets ».

3 L'émergence des raccourcis dans les sociétés d'insectes

Nous proposons d'illustrer les trois ingrédients introduits précédemment par la simulation suivante. Cette simulation est inspirée par la stratégie stimergique des colonies de fourmis : la sélection du plus court parmi de nombreux chemins pour relier les endroits comportant des ressources (16). En substance, nous cherchons à répondre à la simple question de base : « Pourquoi les fourmis se sont-elles décidées à un moment à communiquer en déposant le long de leur chemin quelque chose en tant que signal (dans le cas des fourmis, ces signaux s'appellent des phéromones) ? quel observateur a commencé à décider qu'il pouvait s'agir d'une véritable stratégie de communication ? ». Dans ce qui suit, nous décrivons le développement de la simulation en vue d'une réponse à cette question. Sur une grille à deux dimensions comportant des conditions aux limites périodiques, un ensemble de cellules contient trois éléments : un agent (par exemple une fourmi), une quantité de ressources (de la nourriture par exemple) et une quantité de signaux (quelques phéromones). Chaque agent est caractérisé par une quantité positive plus avancée appelée son « énergie vitale ». L'agent vit aussi longtemps que son « énergie vitale » ne tombe pas à zéro. Si cette énergie disparaît jusqu'à s'annuler, l'agent meurt et disparaît de l'environnement simulé. La quantité de ressources dans une cellule varie stochastiquement avec le temps. Cette variation stochastique représente des duretés différentes d'environnement. Les ressources sont de la nourriture pour les agents. Les agents doivent « consommer » quelques ressources pour augmenter leur « énergie vitale » et survivre.

ainsi. Comme il dépend de la valeur de son « énergie vitale », un agent peut soit avoir ou ne pas avoir faim. En ce qui concerne son état, l'agent peut réagir différemment. En cas de présence de ressources, l'agent rassasié peut décider de ne pas consommer.

Un signal est le troisième élément qu'une cellule peut contenir. La force de ce signal est représentée par une quantité positive qui peut être augmentée par les agents. Avec le temps, cette quantité décroît de façon naturellement exponentielle. Lorsque l'agent dépose un signal quelconque dans ses cellules, la quantité de signal augmente d'une quantité fixe. Le comportement évolue dans le temps par le biais d'un Algorithme Génétique. Ce génotype est divisé en deux parties : les parties « qui ont faim » et celles « qui n'ont pas faim ». Chaque partie est composée du même nombre de gènes. L'allèle d'un gène encode un comportement possible. La localisation d'un gène correspond à un état possible de l'agent. L'état d'un agent est caractérisé par son « énergie vitale » et les éléments sont contenus dans son voisinage de Von Neumann à quatre cellules. En ce qui concerne cet état, l'agent agit selon le comportement encodé dans le gène correspondant. Six comportements possibles ont été définis à savoir :

1. « ne rien faire »
2. « se déplacer aléatoirement vers l'une des quatre cellules de voisinage »
3. « consommer une ressource »
4. « se déplacer vers une cellule contenant une ressource »
5. « déposer un signal dans la cellule »
6. « déménager vers une cellule voisine sélectionnée en fonction du signal contenu dans les cellules ».

Evidemment, certaines actions sont impossibles dans certains états. Les actions possibles sont conditionnées par l'état de l'agent du moment. Par exemple, un agent peut consommer des ressources seulement si sa cellule du moment contient des ressources. Il ne peut déménager vers une cellule comportant des ressources que si une telle cellule existe effectivement. Il ne peut se déplacer vers une cellule voisine sélectionnée que si la distribution des signaux dans ces cellules présente cette possibilité, c'est-à-dire si l'une de ces cellules possède la plus grande ou la plus petite quantité de ces signaux. Il existe 6 cases possibles de distribution au sein de la cellule de l'agent et des quatre cellules voisines. :

1. Uniformité complète de la quantité de signal parmi les cinq cellules,
2. Une quantité de signal dans la cellule de l'agents supérieure à la quantité de signal dans les cellules voisines
3. Une quantité de signal dans la cellule de l'agent égale à quantité de signal la plus grande dans les cellules voisines
4. Une quantité de signal dans la cellule de l'agent intermédiaire entre la plus grande et la plus petite quantité dans les cellules voisines,
5. Une quantité de signal dans la cellule de l'agent égale à la plus petite quantité de signal dans la cellule voisine
6. Et une quantité de signal dans la cellule de l'agent inférieure à la quantité de signal présente dans les cellules voisines.

Le génotype de l'agent comprend alors 2x8 gènes : des parties « ayant faim » et « n'ayant pas faim » et dans les deux cas des ressources ou pas de ressources, et en plus les 6 cases que l'on vient de décrire. En ce qui concerne la localisation (correspondant à un état de l'agent), chaque gène fournit un nombre différent d'allèles (correspondant à une action de l'agent). La taille de l'espace de recherche est assez énorme, il existe environ 10^{11} schémas de comportement possibles. A chaque étape de la simulation, la situation de toutes les cellules est mise à jour se façon synchrone et l'action de chaque agent est sélectionnée en tant que fonction déterministe de son état du moment (l' « énergie vitale », les signaux et les ressources environnantes). Chaque action de l'agent entraîne une perte d' « énergie vitale » qui dépend précisément de l'action. Même ne rien faire est coûteux. Evidemment, la viabilité d'un agent dépend de sa capacité à trouver rapidement et économiquement des ressources disponibles à la consommation pendant la période de la simulation. Après simulation, les meilleurs agents en vie sont

conservés et mis en évolution. Les simulations sont un moyen d'évaluer les génotypes. Nous considérons deux types de simulation. En premier lieu on inclut un ensemble d'agents homogènes : ils partagent le même chromosome. En second lieu, on inclut un ensemble d'agents hétérogènes : ils peuvent avoir des chromosomes différents.

L'évolution des génotypes des agents évolue comme suit : à chaque tour, une population de vingt agents est générée et simulée pendant un temps correspondant à vingt mille étapes. S'il y a homogénéité, chaque chromosome fournit vingt agents qui sont simulés. La capacité adaptative d'un agent est donnée par la valeur de son « énergie vitale » à la fin d'un tour. S'il y a homogénéité, l'aptitude du chromosome est définie par la moyenne des aptitudes des vingt agents. Les opérateurs génétiques sont très classiques. Les cinq meilleurs agents sont sélectionnés. Ils sont recopiés à l'identique dans la population engendrée juste après. A partir d'eux, quinze descendants sont créés selon un croisement uniforme et une mutation génétique.

Le cas de l'homogénéité est le plus facile à comprendre. Quel schéma unique de comportement permet aux agents de vivre plus vieux en moyenne ? Nous étions assez satisfaits de découvrir que le comportement consistant à 1) après consommation d'une ressource, à déposer un signal tout le long du trajet commun avec 2) en l'absence de toute ressource, à suivre le gradient de signal, s'est révélé être celui du chromosome le plus efficace et le plus stable au cours des générations de GA (Algorithmes Génétiques). Un cliché instantané de la simulation obtenu avec le « meilleur » chromosome est montré dans la figure n°3, où la stratégie la mieux adaptée peut être vue et comprise clairement, en découvrant les signaux laissés par les agents au voisinage des ressources. Le cas de l'hétérogénéité a poussé plus loin les principes d'évolution. Dans ce cas chaque agent avec un chromosome différent doit se battre pour sa survie. Une compétition directe entre chaque chromosome représenté est en jeu. Effectivement, les ressources ne sont pas inépuisables. Si un agent est dépourvu d'un comportement compétitif, et même s'il est capable de trouver des ressources, les ressources seront rapidement consommées par des agents plus adaptés. Des signaux pourraient être utilisés par des transfuges et les agents altruistes ne seraient guère récompensés. En fait, l'exploitation des signaux est un comportement à la fois égoïste et collaboratif. L'agent qui dépose et sent les signaux étend sa recherche de ressources à la totalité de l'environnement. La probabilité de retrouver une source de ressources est alors accrue. Par la pression sélective, ce comportement est transmis à quelques descendants. Une sous-population quasi homogène est ainsi obtenue comme dans le cas homogène. On peut clairement voir la trace du signal et par-dessus tout cette stratégie collective de coopération qui, effectivement, « émerge fortement » en résultat de la compétition darwinienne.

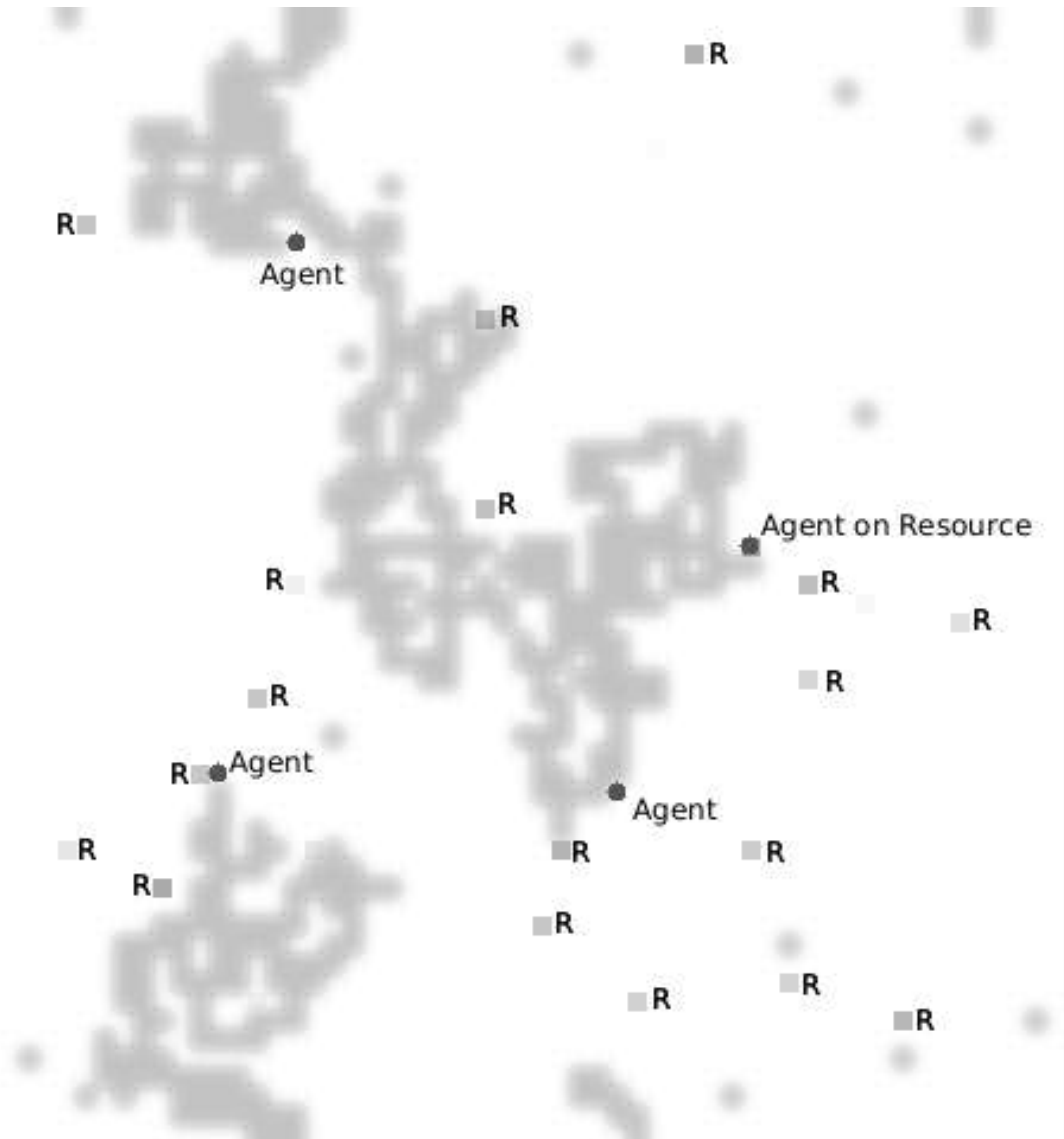


Figure n°3 : Cliché de la simulation. « R » indique une ressource , « Agent » un agent et la trace grise est celle laissée par les agents

C'est pourquoi, ici le rôle de l'« observateur mécanique » est joué par l'« énergie vitale » qui intègre dans le temps l'effet collectif des agents. Effectivement, la présence du signal et sa coopération stigmergique entre les agents est responsable du raccourcissement des trajectoires et ainsi de la quantité d'énergie dépensée pour atteindre les ressources. L'exigence est la même que dans les paragraphes précédents , les trois ingrédients sont tous présents pour pouvoir attribuer le qualificatif d'« émergent » à ce comportement stigmergique, coopératif et basé sur un signal. La figure n°4 montre l'aptitude du meilleur des comportements dans le cas de l'homogénéité. Il est difficile de distinguer réellement entre d'autres comportements bien adaptés comme par exemple, « ne pas bouger du tout » , qui peuvent être parfois gratifiants. La Figure n°5 représente la fréquence d'apparition des actions de « dépôt de signal » au cours de la progression de l'algorithme évolutif et de l'évaluation des générations d'agents successives (dans le cas de l'hétérogénéité). Nous pouvons voir comment cette action se stabilise dans le temps, ce qui est une bien meilleure mise en exergue de sa valeur adaptative.

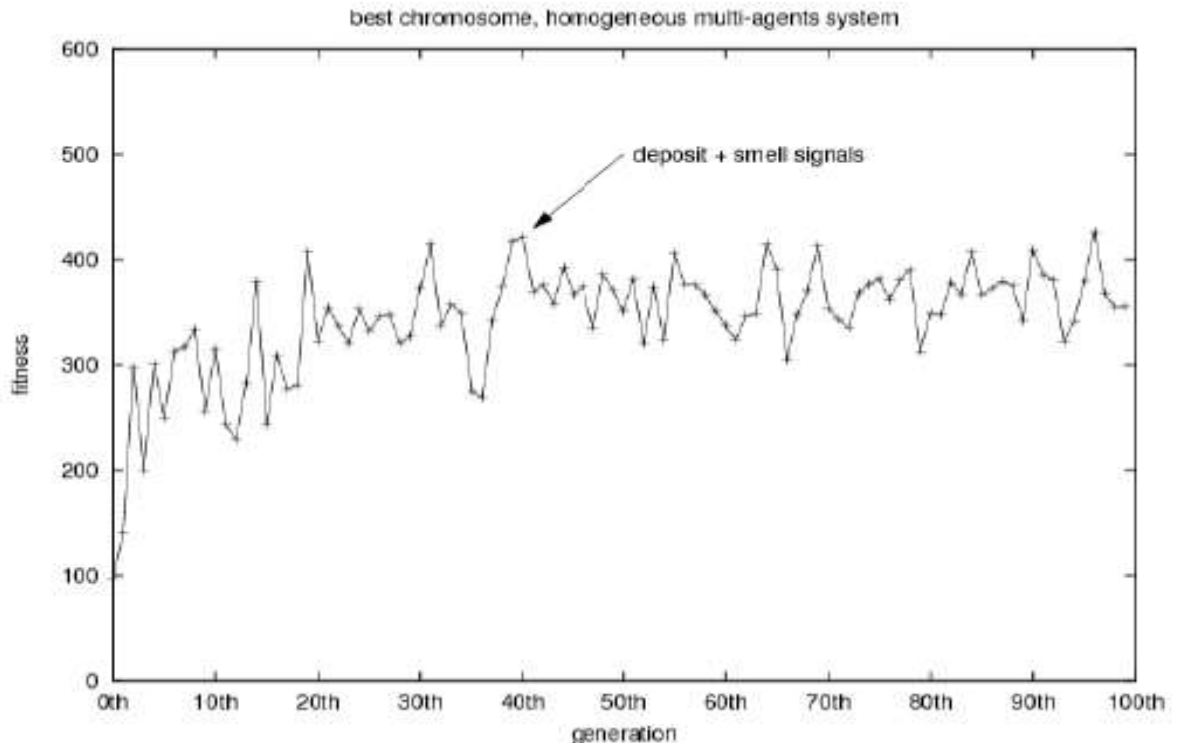


Figure N°4 . Les valeurs d'aptitude sont portées en fonction des différents schémas de comportement dans le cas de l'homogénéité. Le meilleur comportement est légèrement meilleur que les autres. A la 40^{ème} génération , un comportement « dépôt+ signal d'odeur » est apparu qui est légèrement meilleur que les vieilles générations. Ce comportement reste stable durant l'évolution des générations suivantes.

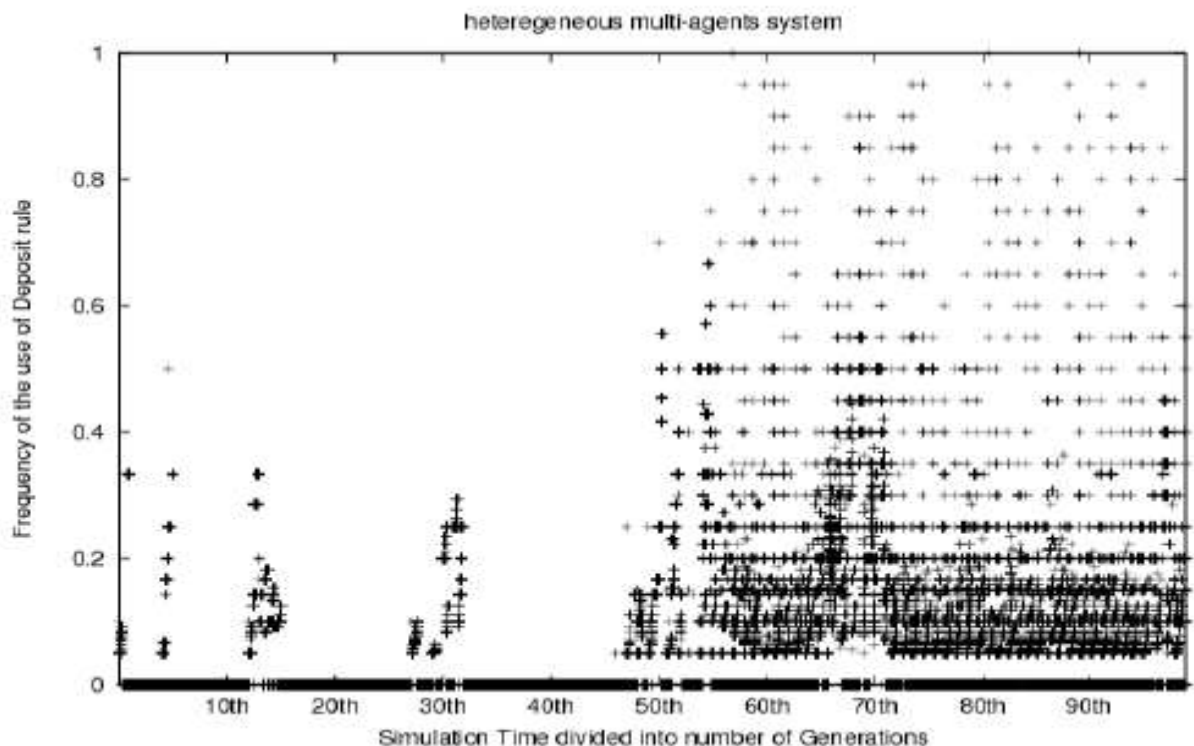


Figure n°5 . Cette figure reporte la fréquence d'utilisation « dépôt de signal » lors du progrès de l'évolution dans le temps dans le cas du système multi-agents hétérogène. Après environ la 50^{ème} génération, l'action « dépôt de signal » est toujours utilisée par les meilleurs agents.

4 Conclusions

Parmi d'autres, deux biologistes (7,8) sont reconnus Parce qu'ils veulent célébrer le mariage entre des phénomènes d'auto-organisation issus de la physique et ceux issus de la sélection naturelle, qui à leurs yeux, est trop influente et trop systématique en biologie. Pour eux, la sélection naturelle devrait se réduire à une paramétrisation convenable des agents qui, lorsqu'ils interagissent de manière non linéaire, montrent une tendance spontanée à des comportements collectifs complexes. Ils considèrent que cette articulation entre les deux sources d'ordre que sont la sélection naturelle et l'auto-organisation physique doit être réajustée en faveur de la physique. Quelle que soit la route choisie, qu'elle provienne de la physique et qu'elle voie dans la sélection naturelle un moyen exotique de détecter et sélectionner certains de ces phénomènes collectifs spontanés ou , qu'elle provienne de la biologie et qu'elle voie dans l'existence de l'auto-organisation l'explication manquante située derrière cette sorte de comportements complexes que la seule sélection naturelle ne peut s'attribuer , notre émergence se situe exactement à la croisée de ces deux voies.

Nous avons insisté dans cet article sur la naturalisation de Mac Jim, le macro-observateur ou sur le fait de lui substituer un « double naturel » pour renforcer le niveau de l'émergence. Cependant, en tant qu'humain, Mac Jim existe toujours et bien que complètement éclipsé par Mic Jim et la manière dont il comprend les phénomènes observés, nous devrions pourtant essayer d'expliquer et justifier son existence et de concilier en partie les formes faibles et fortes de l'émergence. Il y a deux méthodes. La première est évidente et n'est pas si séduisante. Quelque chose peut être sollicité à la fois du point de vue du regard de la sélection naturelle et du regard humain. Les raccourcis sont bénéfiques à la viabilité des insectes mais ils peuvent aussi être détectés facilement par un observateur humain. Cependant, le caractère saillant ne concorde pas toujours avec un quelconque avantage adaptatif. Les « glisseurs » ou les ellipses planétaires sont intéressants ou surprenants pour le regard, mais on ne leur voit attribuer aucun avantage adaptatif. D'autre part , certains comportements biologiques collectifs , comme des effets de réseau de gènes ou de protéines (robustesse, petit-monde..) sont difficilement accessibles au regard humain. Une voie beaucoup plus prometteuse pour expliquer pourquoi Mac Jim décrit d'une nouvelle manière un phénomène collectif, tout en accroissant le réalisme de cette version épistémique de l'émergence, consiste à accepter que l'appareil perceptif humain soit calibré par la sélection naturelle. Non seulement la sélection naturelle rend notre appareil cognitif avide de réaliser un résumé du monde extérieur dans le temps et l'espace , mais bien au-delà, quelques auteurs insistent en expliquant que les mécanismes de filtrage des processus neuronaux en termes Darwinien (17,18) . Le simple processus instantané de perception et l'apprentissage en temps réel d'une meilleure technique de perception est ainsi proche d'un mécanisme de sélection , la plasticité synaptique contribuant à favoriser un schéma neuronal plutôt qu'un autre en réponse à un stimulus. La version forte de l'émergence qui requiert la présence d'un observateur mécanique ajusté à cette tâche par la sélection naturelle passe à la version faible si, l'humain que nous essayons fermement d'écarter, finit par devenir ce même observateur mécanique si bien adapté.

Références

1. Poundstone, W.: *Recursive Universe: Cosmic Consequences and the Limits of Scientific Knowledge*. NTC Publishing Group (1985)
2. Kubik, A.: Toward a formalization of emergence. *Artificial Life* 9(1) (2003) 41–65
3. Bedeau, M.: Weak emergence. *Philosophical perspectives: Mind, causation and world* 11 (1997) 375–399
4. Bar-Yam, Y.: A mathematical theory of strong emergence using multiscale variety. *Complex* 9(6) (2004) 15–24
5. Anderson, P.: More is different. *Science* 177 (1972) 393–396
6. Laughlin, R.: *A different universe: reinventing physics from the bottom down*. Basic Books (2005)
7. Goodwin, B.: *How the Leopard Changed Its Spots: The Evolution of Complexity*. Princeton University Press (March 1994)
8. Kauffman, S.: *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press (October 1996)
9. Maynard-Smith, J., Szathmari, E.: *The Major Transitions in Evolution*. New York: Oxford University Press (1997)
10. Cariani, P.: Emergence of new signal-primitives in neural networks. *Intellectica* 2 (1997) 95–143
11. Groß, R., Bonani, M., Mondada, F., Dorigo, M.: Autonomous self-assembly in swarm-bots. *IEEE Transactions on Robotics* 22(6) (2006) 1115–1130
12. Bersini, H.: Whatever emerges should be intrinsically useful. In: *Artificial life 9*, The MIT Press (2004) 226–231
13. Crutchfield, J.: Is anything ever new? considering emergence. In G. Cowan, D.P., Melzner, D., eds.: *Integrative Themes. Volume XIX of Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts (1994)
14. Crutchfield, J., Mitchell, M.: The evolution of emergent computation. In: *Proceedings of the National Academy of Science. Volume 23*. (1995) 103
15. Corning, P.: The re-emergence of "emergence": A venerable concept in search of a theory. *Complexity* 7(6) (2002) 18–30
16. Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A.: The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics* 26(1) (1996) 29–41
17. Calvin, W.: The brain as a darwin machine. *Nature* 330 (November 1987) 33–34
18. Edelman, G.: *Neural Darwinism*. Oxford University Press (1990)
19. Baas, N.: Emergence, hierarchies and hyper-structures. In Langton, C.G., ed.: *Artificial Life III*, Boston, MA, USA, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. (1994) 515–537