

BULLETIN N° 117
ACADÉMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 11 septembre 2007

Conférence de Michel GONDRAN :
Modélisation et simulation dans les sciences humaines :
le cas particulier de « l’Ethique » de Spinoza

Prochaine séance : le Mardi 9 octobre 2007

Conférence du Pr Alain BOUTOT de l’université de Bourgogne :
« Approches contemporaines de la morphogenèse »

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-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

Septembre 2007

N°117

TABLE DES MATIERES

P. 3 Compte-rendu de la séance du 11 septembre 2007

P. 5 Documents

Prochaine séance : Mardi 9 octobre 2007,

MSH, salle 215-18heures

Conférence du Pr Alain BOUTOT de l'Université de Bourgogne:

« Approches contemporaines de la morphogenèse »

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

Séance du
Mardi 11 septembre 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 Gilbert BELAUBRE, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Jean-Pierre FRANÇOISE, Michel GONDRAN, Irène HERPE, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS, Emmanuel NUNEZ, Alain STAHL

Etaient excusés :François BEGON, Bruno BLONDEL, Alain CARDON, Françoise DUTHEIL, Marie-Louise LABAT, Gérard LEVY, Victor MASTRANGELO, Pierre SIMON

I) Informations Générales

La date de la prochaine assemblée générale de notre association est fixée au mardi 13 novembre 2007 à 18h en salle 215 à la Maison des Sciences de l'Homme 54 bd Raspail 75006 PARIS.

Sont abordés ensuite, les problèmes de l'obtention de subventions pour le futur congrès sur l' « Emergence », et de la recherche d'éventuels intervenants francophones. Notre collègue Gilbert BELAUBRE nous signale qu'il a rencontré Philippe HUNEMAN et que ce dernier lui a suggéré un certain nombre d'intervenants pour le congrès.

.

II) Conférence de Michel GONDRAN :

Modélisation et simulation dans les Sciences humaines : le cas particulier de « l'Ethique » de Spinoza

Michel GONDRAN nous propose une réflexion sur la possibilité de la modélisation et de la simulation symbolique en Sciences Humaines.

Après les « éléments » d'Euclide pour les mathématiques, les « Principia » de Newton pour la physique,

l' « Ethique » de Spinoza paraît être le seul texte de la littérature mondiale pouvant se prêter à la modélisation et la simulation symbolique.

C'était le rêve des Lumières, et en particulier celui de Leibniz et de Condorcet.

Michel GONDRAN nous présente une telle modélisation et simulation qu'il a réalisé avec un élève de l'X il y a vingt ans en introduisant un langage adapté, SNARK.

La formalisation aide à la compréhension du texte et à la validation de l'interprétation.

L'impossibilité d'une telle démarche est donc réfutée.

Mais la difficulté d'une telle modélisation est beaucoup plus difficile que dans les sciences physiques:

elle est en parti due au très grand nombre de concepts et d'axiomes à définir. L'étude de la cohérence

de l'ensemble est l'outil nécessaire pour progresser. Mais la route sera longue.

En réaction certains collègues posent la difficulté de modélisation des sciences humaines par rapport aux sciences physiques et notamment celle de trouver dans ces domaines des axiomes cohérents entraînant des problèmes d'indécidabilité et d'incomplétude : le problème initial résiderait dans la détermination d'une cohérence interne et d'une congruence (conformité avec le réel). Selon Michel GONDRAN ceci est en revanche aisé dans le cas de l'étude de la cohérence de systèmes physiques comme celui des équations de Maxwell. Notre collègue Alain STAHL objecte le fait que précisément les grandeurs physiques sont symbolisées par des fonctions continues tandis que par exemple les grandeurs éthiques seraient de nature binaires. Notre collègue Gilbert BELAUBRE s'interroge sur les difficultés de modélisation en sciences sociales, dans lesquelles on procéderait plutôt à des simulations. Il suggère également que la modélisation nécessiterait une intuition sous-jacente dans ce domaine et en référence au futur congrès, il propose la présentation d'une série d'exemples d'émergence allant de la physique jusqu'à la sociologie, opposant éventuellement les tenants de modèles « ontologiques » à ceux de modèles « épistémologiques ».

Après ce riche exposé, la séance est levée à 20 heures.

Bien amicalement à vous,

Irène HERPE-LITWIN

Documents

Pour vous permettre une meilleure compréhension de la simulation et de la modélisation de l'« Ethique » de Spinoza Michel GONDRAN nous a confié les schémas présentés lors de sa conférence du 11 septembre 2007 :

P. 6 : Modélisation de l'« Ethique » de Spinoza dans le langage SNARK de Jean-Louis Laurière

P. 22 : Emergence des Equations de Maxwell

Pour préparer la conférence du Pr Alain BOUTOT sur les « Approches contemporaines de la morphogenèse » nous vous donnons son article présenté en Juillet-Août 2005 dans la revue « Sciences et Avenir » consacrée à l'« Emergence » :

P. 23 : La révolution morphologique par Alain BOUTOT

Notre Collègue Gilbert BELAUBRE qui a lu l'ouvrage publié par Le Pr. Hughes BERSINI de l'ULB « Qu'est-ce que l'émergence ? » nous expose quelques réflexions à ce sujet :

P. 30 : « modeste contribution aux thèmes de l'émergence »

***Modélisation et Simulation dans les Sciences Humaines:
le cas de « l'Éthique » de Spinoza***

| *Par Michel GONDRAN*

Les Eléments d'Euclide

~300 av. J.C. pour les Mathématiques
Définitions, Axiomes, Propositions avec démonstration

Les Principia de Newton

(1687) pour la Physique
Introduction du calcul différentiel pour représenter les lois physiques

Modèles Théoriques

outils de compréhension et donnant des solutions explicites : limités à des géométries
simples, peu de corps

Modèles Numériques

Simulation par ordinateur permet des géométries complexes, l'interaction de
nombreux éléments, de se rapprocher de plus en plus de la réalité

ETHIQUE

Spinoza (1632-1677)

**DEMONTREE SUIVANT L'ORDRE
GEOMETRIQUE
ET
DIVISEE EN CINQ PARTIES
OU SONT TRAITES**

- 1--- DE DIEU.**
- 2--- De la Nature et de l'Origine de l'Ame.**
- 3--- De l'Origine et de la Nature des Affections.**
- 4--- De la Servitude de l'Homme ou des Forces des Affections.**
- 5--- De la Puissance de l'Entendement ou de la Liberté de l'Homme**

Classiquement

2 langages formels: mathématiques et graphique

(non nuance, non millier de mots du dico)

1 langage informel: langage naturel

(ambiguïté)

Modèles Symboliques

IA et Systèmes Experts ~1980

- milliers de mots reliés par la logique
- modularité (base de connaissances), explication (trace du raisonnement)

Le programme de Leibnitz (1676)

« Cette volonté que j'ai eue de produire quelque chose de considérable m'a ouvert des routes inconnues et m'a fait étudier un art qui n'a pas encore été cultivé assez par les hommes: c'est **l'art d'inventer en général** dont les règles ne se trouvent nulle part; mais comme j'avais coutume de chercher les origines des inventions et de n'avoir point l'esprit en repos toutes les fois que je voyais une belle découverte, que lorsque j'avais trouvé comment elle pouvait être venue dans l'esprit de son auteur et comment je l'aurais pu trouver moi-même si je l'avais cherchée; cette application m'a donné moyen de faire des observations générales et d'établir enfin **une méthode d'inventer....**

Mais pour rendre cette méthode ou art d'inventer aisée à connaître et à employer aux esprits les plus grossiers, j'ai trouvé un moyen de la revêtir pour ainsi dire d'un corps palpable et agréable tout à la fois. Et ce moyen est **le projet que j'ai d'une langue ou écriture nouvelle qui se pourrait apprendre en une semaine ou deux, qu'on ne saurait quasi oublier et qu'on pourrait même retrouver l'ayant oubliée**, qui aurait bientôt cours dans le grand monde, lorsqu'elle serait connue et qu'elle aurait eu l'approbation de quelques grands personnages; mais qui, outre l'usage du commerce et la communication des peuples divers (ce qui la pourrait même rendre plausible au vulgaire) aurait des avantages incomparablement plus grands: car **elle donnerait moyen de raisonner sur les matières capables de raisonnement par une espèce de calcul infailible pourvu qu'on y apportât la même exactitude qu'à chiffrer, et les erreurs ne seraient que des erreurs de calcul.**

Il y aurait même des preuves semblables à celles du novenaire dont on se sert dans l'arithmétique; il n'y aurait point de contestation entre ceux qui voudraient y compromettre; et non seulement on trouverait là-dedans des voies infailibles pour arriver à **la solution des problèmes qui se peuvent résoudre par la seule force du raisonnement**, mais lors même qu'il s'agit d'une question de fait, et qu'il reste encore des expériences à faire qui ne sont pas toujours dans le pouvoir des hommes, ce calcul serait suffisant pour nous conduire, en attendant, le mieux qu'il est possible de faire suivant la raison, sur les connaissances déjà données. Car par là nous pourrions **estimer les degrés de probabilité**, ce qui est une chose également importante et négligée dans la morale et dans les affaires; nous pourrions même trouver **quelles recherches ou expériences restent encore à faire** afin de nous éclaircir ("éclairer") entièrement autant que cela se peut par **la seule force de la raison**; et non seulement nous pourrions projeter *experimenta crucis*, comme le chancelier Bacon les appelle, pour mettre la nature à la question, mais nous pourrions encore par là dresser des articles ou interrogatoires pour examiner les hommes et pour tirer d'eux la vérité sans qu'ils s'en aperçoivent.

En un mot, le dictionnaire de cette langue serait comme un inventaire dans ce grand magasin confus d'une infinité de belles sciences qui sont déjà acquises, mais dont les hommes ne savent pas se servir, ni en tirer toutes les conséquences qui sont déjà en leur pouvoir. Car ils m'ont avoué en Angleterre que le grand nombre d'expériences qu'ils ont amassées ne leur donne pas moins de peine aujourd'hui que le défaut d'expériences en donnait aux anciens. Ce qui arrive faute de cette méthode que je viens d'expliquer. Et je tiens pour assuré que les hommes ont déjà en main des moyens de se garantir de quantité de maux qui leur arrivent, s'ils savaient en profiter.

Je crois donc que cette **méthode revêtue de la forme d'une langue ou caractéristique** est la plus importante chose que les hommes puissent jamais entreprendre pour l'avancement des sciences, parce qu'elle rendrait ce grand secret populaire et familier . »

Les langages rêvés de Leibniz et Condorcet

« Peut-être serait-il utile aujourd'hui d'instituer une langue écrite qui, réservée uniquement pour les sciences, n'exprimant que les combinaisons de ces idées simples qui sont exactement les mêmes dans tous les esprits, n'étant employée que pour des raisonnements d'une rigueur logique, pour des opérations de l'entendement précises et calculées, fût entendue par les hommes de tous les pays, et se traduisît dans tous leurs idiomes, sans pouvoir s'altérer comme eux, en passant dans l'usage commun.

Alors, par une révolution singulière, ce même genre d'écriture, dont la conservation n'eût servi qu'à prolonger l'ignorance, deviendrait, entre les mains de la philosophie, un instrument utile à la prompt propagation des lumières, au perfectionnement de la méthode des sciences. »

Condorcet, Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain (1776). Nouvelle édition présentée par Yvon Belaval (professeur à la Sorbonne). Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 1970, 247 pp. Collection: Bibliothèques des textes philosophiques.

Objectif: programme de Leibniz possible, mais très difficile

Écrire en langage Formel l'Éthique de Spinoza

- Mettre en équation: interprétation formelle du texte
- Simuler les raisonnements: valider les choix si même démo que Spinoza
- Discuter la cohérence interne du modèle
- Ne pas discuter sa véracité

Discussion : spécificité de l'Éthique-Pas d'équivalent (Freud dans sa Métapsychologie)

- Essai de modélisation par Boole

Travail réalisé en 1987 avec Fabrice Cavarretta (stage de 3^{ième} année de l'X): Spinolog

Implémenté en Boojum, extension du langage **Snark** de **Jean-Louis Laurière** réalisée dans sa thèse par Jean-Luc Dormoy.

Phrase représentée par des triplets récursifs généralisant (sujet, verbe, complément)

Langage Snark-Boojum

Objets **O**, Relations **R**, Variables **X**, Termes **T= O** ou **X**
ou Formules

Les phrases sont des faits, des formules ou des règles:

Faits **ORO**, Formules **TRT**, Règles $(A(x) \rightarrow B(x))$

où A et B sont des ensembles de formules

Déduction par Modus Ponens: de $A(x_0) \ \& \ (A(x) \rightarrow B(x))$

on déduit $B(x_0)$

Exemples:

Fait: **Dieu est_une substance**

Formule: **x est existant**

Règle: **(x est_une substance \rightarrow x est_cause _de x)**

*Déduction: de Fait+ Règle, on déduit **Dieu est_cause_de Dieu***

Plan

1. Proposition 11: Dieu existe (Partie I)
2. Présentation d'une base de règles modélisant le début de la Partie III
3. Démonstration des propositions 19 à 55 de la Partie III
4. Conclusion

1. Proposition 11: Dieu existe (Partie I)

Définitions

Déf1 : J'entends par cause de soi ce dont l'essence enveloppe l'existence ; autrement dit , ce dont la nature ne peut être conçue que comme existante.

Déf3 : J'entends par substance ce qui est en soi, et ce qui est conçu par soi.

Déf6 : J'entends par Dieu un être absolument infini, c'est-à-dire une substance constituée par une infinité d'attributs, dont chacune exprime une essence éternelle et infinie.

Axiomes

Ax7 : Toute chose qui peut être conçue comme non existante, son essence n'enveloppe pas son existence.

Proposition 11

Dieu, c'est-à-dire une substance constituée d'une infinité d'attributs dont chacun exprime une essence éternelle et infinie, existe nécessairement.

Modélisation des définitions 1, 3 et 6 et de l'axiome 7, puis démonstration formelle de la proposition 11

Modélisation :

Déf1: (x) est_cause_de (x) \rightarrow (essence de (x)) enveloppe (existence de (x))

Déf3: (x) est_une substance \rightarrow (x) est_cause_de (x)

Déf6: Dieu est_une substance

Ax7: (essence de (x)) enveloppe (existence de (x)) \rightarrow (x) est existant

Démonstration en Snark: BF= {Déf6}; BR={Déf1, Déf1, Ax7}

Déf6+ Déf3 F1 (Dieu est_cause_de Dieu)

F1+ Déf1 F2 (essence de Dieu) enveloppe (existence de Dieu)

F2+ Ax7 F3 Dieu est existant (*Proposition 11*)

2. Présentation d'une base de règles modélisant le début de la Partie III

P13/1/1 Définition spinozienne de l'amour

(x) aime (y) → (x) imagine ((y) affecte_de_joie (x))

(x) hait (y) → (x) imagine ((y) affecte_de_tristesse (x))

P13/1/2 réciproque

**(x) imagine ((y) affecte_de_joie (x)) &
(x) ≠ (y) → (x) aime (y)**

**(x) imagine ((y) affecte_de_tristesse (x)) &
(x) ≠ (y) → (x) hait (y)**

P13/2/1

(x) imagine ((y) aime (z)) → (x) imagine ((z) affecte_de_joie (x))

P. P13/2/2 réciproque

(x) imagine ((z) affecte_de_joie (x)) → (x) imagine ((y) aime (z))

*(même règle en remplaçant **imagine** par **s'efforce_que**)*

Q. P12/13/17

**(x) imagine ((y) est inexistant) &
 (x) imagine ((y) affecte_de_joye (x)) → (x) est triste**

**(x) imagine ((y) est existant) &
 (x) imagine ((y) affecte_de_tristesse (x)) → (x) est joyeux**

**(x) imagine ((y) est triste) &
 (x) imagine ((y) affecte_de_joye (x)) → (x) est triste**

**(x) imagine ((y) est joyeux) & (x) imagine ((y) affecte_de_tristesse
 (x)) → (x) est joyeux**

R. P21/1

**(x) imagine ((y) est existant) → Créer (z)
 (x) imagine ((z) affecte_de_joye (y))**

**(x) imagine ((y) est inexistant) → Créer (z)
 (x) imagine ((z) affecte_de_tristesse (y))**

S. P22/1 Transitivité des relations d'affects

**(x) imagine ((z) affecte_de_joye (y)) &
 (x) imagine ((y) affecte_de_joye (t)) &
 (x) ≠ (y) & (z) ≠ (t) →
 (x) imagine ((z) affecte_de_joye (t))**

*(mêmes règles en changeant joie par tristesse et en faisant le produit
 joie*tristesse=tristesse et tristesse*tristesse=joye)*

T. P12II/17II

(x) imagine ((z) affecte_de_joie (x)) & (x) ≠ (z) → (x) s'efforce_que ((z) est existant)

(x) imagine ((z) affecte_de_tristesse (x)) & (x) ≠ (z) → (x) s'efforce_que ((z) est inexistant)

U. P27/1

**(x) imagine ((z) affecte_de_joie (y)) &
 (x) porte_sentiment_→ (y) '*inexistant* &
 (x) est_semblable_à (y) →
 (x) imagine ((z) affecte_de_joie (x))**

V. P12/29

**(x) aime (y) & (x) s'efforce_que ((y) est existant) →
 (x) s'efforce_que ((y) est joyeux)**

W.P29/1

**(x) s'efforce_que ((y) est joyeux) →
 (x) s'efforce_que ((x) affecte_de_joie (y))**

3. Démonstration des propositions 19 à 55 de la Partie III

Proposition 19

« Qui imagine que ce qu'il aime est détruit, sera contristé; et joyeux, s'il l'imagine conservé »

**(x) aime (y) & (x) imagine ((y) est inexistant) →
(x) est triste**

Démonstration en **Snark** avec déduction naturelle (chaînage avant)

BF initiale **1 (x0 aime y0)**

2 (x0 imagine (y0 est inexistant))

1 + P13/1/1 (x) aime (y) → (x) imagine ((y) affecte_de_joie (x))

3 (x0 imagine (y0 affecte_de_joie x0))

**2+3+P12/13/17 (x) imagine ((y) est inexistant) & (x) imagine ((y)
affecte_de_joie (x)) → (x) est triste**

BF finale **4 (x0 est triste)**

Idem pour le cas existant et pour la proposition 20

Proposition 21

« *Qui imagine ce qu'il aime affecté de joie ou de tristesse, sera également affecté de joie et de tristesse.* »

**(x) aime (y) & (x) imagine ((y) est joyeux) →
(x) est joyeux**

Démonstration en **Snark** avec déduction naturelle (chaînage avant)

BF initiale **1** **(x0 aime y0)**

2 **(x0 imagine (y0 est joyeux))**

1 + P13/1/1 **(x) aime (y) → (x) imagine ((y) affecte_de_joie (x))**

3 **(x0 imagine (y0 affecte_de_joie x0))**

2+3+P12/13/17 **(x) imagine ((y) est joyeux) &
(x) imagine ((y) affecte_de_joie (x)) → (x) est joyeux**

BF finale **4** **(x0 est joyeux)**

Proposition 22

« *Si nous imaginons que quelqu'un affecte de joie la chose que nous aimons, nous serons affecté d'Amour à son égard. Si au contraire, nous imaginons qu'il l'affecte de tristesse, nous serons tout au rebours affectés de haine contre lui.*

(x) aime (y) & (x) imagine ((z) affecte_de_joie (y)) → (x) aime (z)

BF initiale **1** **(x0 aime y0)**

2 **(x0 imagine (z0 affecte_de_joie y0))**

1 + P13/1/1 **(x) aime (y) → (x) imagine ((y) affecte_de_joie (x))**

3 **(x0 imagine (y0 affecte_de_joie x0))**

2+3+P22/1 **(x) imagine ((z) affecte_de_joie (y)) & (x) imagine ((y) affecte_de_joie (t)) & (x) ≠ (y) & (z) ≠ (t) → (x) imagine ((z) affecte_de_joie (t))**

4 (x0 imagine (z0 affecte_de_joie x0))

4+P13/1/2 **(x) imagine ((y) affecte_de_joie (x)) & (x) ≠ (y) à (x) aime (y)**

BF finale

5 (x0 aime z0)

4. Conclusion

SNARK assez riche pour modéliser Éthique de Spinoza

Les démonstrations aident à la compréhension du texte et à la validation de l'interprétation

Le texte est en général **cohérent**, mais **incomplet**

Avec Snark, Jean-Louis nous a laissé le modèle des langages rêvés par Leibniz et Condorcet nous permettant d'aller plus loin dans la modélisation scientifique

Différences avec les sciences physiques:

- beaucoup de concepts
- beaucoup d'équations (axiomes)

D'où un problème très important de **cohérence des axiomes**

L'étude de la cohérence permet d'améliorer le modèle

C'est la méthode de Leibnitz

Ex1: Maxwell a trouvé ses équations par une étude de cohérence

Ex2: Einstein a trouvé ses équations par une étude de la covariance

Méthode utilisée pour la modélisation du fonctionnement et du disfonctionnement des centrales nucléaires et de la spécification du contrôle commande.

Emergence des équations de Maxwell, 1864

En 1864, les équations de l'électromagnétisme correspondaient à ce que l'on appelle aujourd'hui l'approximation des régimes quasi permanents:

$$\operatorname{div} \mathbf{B}=0 \quad (1); \quad \operatorname{rot} \mathbf{E}=-\dot{\mathbf{B}} \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{E}=\rho/\epsilon_0 \quad (3); \quad \operatorname{rot} \mathbf{B}=\mu_0 \mathbf{j} \quad (4)$$

équations auxquelles on ajoute la conservation de la charge

$$\operatorname{div} \mathbf{j}=-\dot{\rho} \quad (5).$$

Ces équations ne sont pas cohérentes. En effet:

$$(4)+(5)=\operatorname{div}(\operatorname{rot} \mathbf{B})=0 \text{ entraîne } \dot{\rho}=0.$$

Maxwell remplace alors (4) par (6) :

$$\operatorname{rot} \mathbf{B}=\mu_0 (\mathbf{j} + \mathbf{j}_d) \quad (6)$$

et cherche la valeur possible de \mathbf{j}_d

Alors en prenant la divergence de (6) et en utilisant (5) et (3), il trouve

$$0=\operatorname{div}(\mathbf{j} + \mathbf{j}_d)=-\dot{\rho} + \operatorname{div} \mathbf{j}_d =\operatorname{div}(\mathbf{j}_d - \epsilon_0 \dot{\mathbf{E}})$$

Il choisit la solution la plus simple:

$$\mathbf{j}_d = \epsilon_0 \dot{\mathbf{E}}.$$

Il a trouvé les équations de Maxwell!

De plus, en l'absence de charges et de courant, et en éliminant

$$\mathbf{B}, \text{ on a } \nabla^2 \mathbf{E}'' - 1/\epsilon_0 \mu_0 \Delta \mathbf{E}=0,$$

équation des ondes de vitesse $v^2=1/\epsilon_0 \mu_0$.

Numériquement $v= 3 \cdot 10^8$ m/s très proche de la vitesse de la lumière;

Maxwell postule que $v=c$.

La révolution morphologique

Par Alain BOUTOT Professeur de Philosophie des Sciences à l'Université de Bourgogne
Texte publié dans Sciences et Avenir Hors-Série « L'Enigme de l'émergence » Juillet-Août 2005

Les théories contemporaines de la morphogenèse font dépendre l'émergence non de l'intervention d'une multitude d'agents, mais de l'apparition dans un milieu d'une situation globale d'instabilité.

Comment une forme apparaît-elle sur un substrat de prime abord homogène et indifférencié ? Quelle est l'origine des formes bien caractéristiques que possèdent les objets qui nous entourent ? A quoi tient par exemple l'organisation des êtres vivants ? D'où vient qu'un système matériel adopte dans certaines circonstances telle ou telle configuration ? Questions d'autant plus difficiles que la réponse semble devoir varier non seulement avec les différents domaines de l'expérience considérés, mais aussi avec la représentation qu'on se fait de l'idée même de forme. Pour la pensée moderne, c'est-à-dire dans une perspective atomistique et matérialiste, une forme n'est rien d'autre qu'un assemblage d'entités élémentaires agencées de telle ou telle manière. Elle s'explique par le jeu combiné des forces internes ou externes agissant sur le substrat où elle se manifeste. Dans cette approche, une forme n'a pas d'existence en elle-même; elle n'est qu'une combinaison accidentelle, paraissant miraculeuse, de particules matérielles présentes dans un milieu. Ce point de vue est battu en brèche par certaines théories contemporaines de la morphogenèse, qui reconnaissent aux formes une autonomie essentielle et leur attribuent une intelligibilité spécifique. Ces théories ont élaboré des modèles scientifiques inédits capables de rendre compte de l'apparition des structures, de leur transformation, ainsi que de leur disparition, et cela dans les secteurs les plus divers de la réalité. Nous pensons notamment à la théorie des structures dissipatives de Prigogine et à la théorie des catastrophes de Thom, qui ont pour originalité de ne pas faire dépendre l'émergence d'une forme de l'intervention d'une multitude d'agents internes ou externes plus ou moins bien identifiés, mais tout simplement de l'apparition, dans un milieu quel qu'il soit, d'une situation globale d'instabilité, ou plutôt de métastabilité.

Les structures dissipatives désignent les phénomènes d'auto organisation dont peuvent être le siège, dans certains cas, des populations composées d'individus a priori identiques - molécules en chimie, cellules en biologie, agents économiques en économie, habitants d'une ville en urbanisme... Elles correspondent spontanée, d'un ordre au sein d'un système formé d'un grand nombre d'entités élémentaires. Un exemple bien connu de structure de ce genre est celui des cellules de convection, découvertes expérimentalement par le physicien français Henri Bénard en 1900. Ces cellules apparaissent dans une couche de liquide, dilatable et homogène, placée dans le champ de la pesanteur et chauffée par le fond. Dans un tel dispositif, les parties inférieures du liquide sont à une température plus élevée que les parties supérieures. Dès que la différence de température entre les parties basses et les parties hautes dépasse une certaine valeur, le liquide, initialement en repos, se met en mouvement et une structure convective s'établit. L'interprétation hydrodynamique de ce phénomène est relativement simple. Sous l'effet de la chaleur, les parties du liquide situées au fond du récipient se dilatent et deviennent plus légères que celles du dessus, plus froides. Les premières vont donc avoir tendance à monter et à prendre la place des secondes, qui, plus lourdes, vont descendre. Cette tendance est contrariée par la viscosité du liquide, mais, dès que la différence de température devient suffisante, les forces de viscosité sont supplantées par celles de convection, et un ordre macroscopique apparaît. Les courants convectifs s'organisent en structures-les cellules de convection - de configuration variable, plus ou moins complexe, selon les contraintes extérieures imposée au système. Si le gradient de température est supprimé, la structure disparaît.

Cet exemple révèle que les structures dissipatives se manifestent d'abord dans des systèmes traversés par des flux d'énergie -le gradient de température ici - ou de matière, c'est-à-dire dans des systèmes instables, ou plutôt métastables, qui évoluent au-delà de ce que l'on appelle la branche thermodynamique. Par définition, un système dans un état métastable est très sensible aux petites perturbations. Dans le cas des cellules de Bénard, « *un courant microscopique de convection, écrit Ilya Prigogine, que l'application automatique du principe d'ordre de Boltzmann aurait voué à la régression, au lieu de s'amortir, s'est amplifié jusqu'à devenir un courant macroscopique qui envahit tout le système* ». Une structure dissipative n'est rien d'autre au fond qu'une fluctuation géante élargie aux dimensions du système. L'apparition d'une fluctuation étant imprévisible, la forme précise qu'adoptera le système ne saurait être connue à l'avance. L'émergence d'une structure dissipative implique donc une part de contingence qui ne peut jamais être ôtée.

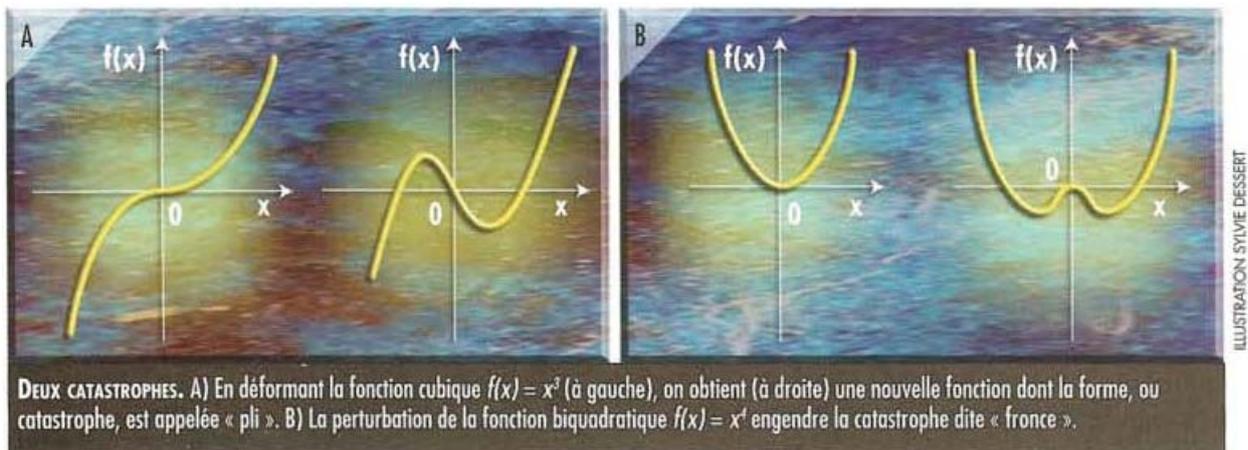
L'apparition d'un ordre dans un système correspond à une brisure de symétrie: un état homogène est remplacé par un nouvel état hétérogène moins symétrique que le précédent. Dans cet état, le système manifeste un comportement global, irréductible à la somme du comportement de ses parties. Un des aspects le plus remarquables des structures dissipatives est, comme l'explique Prigogine, « *la cohérence du système dans son ensemble* ».

Au-delà de la première bifurcation, le système semble se comporter comme un tout, comme s'il était le siège de forces à longue portée; la population des molécules, dont les interactions ne dépassent pas une portée de quelque 10^{-8} centimètres, se structure comme si chaque molécule était "informée" de l'état de l'ensemble du système ». Les caractéristiques phénoménologiques de la structure résultent des contraintes globales imposées par le milieu et ne sont pas dérivables de l'état local des molécules qui le constituent.

La théorie des catastrophes de René Thom propose une analyse assez semblable du phénomène morphogénétique, avec cependant des différences essentielles. Pour Thom, il y a, comme pour Prigogine, une situation d'instabilité à l'origine de toute morphogenèse, mais cette instabilité est mathématique, non thermodynamique. C'est celle que manifeste une fonction dépendant d'une ou de plusieurs variables au voisinage d'un point critique dégénéré - où s'annule la dérivée seconde. Ces fonctions, appelées « singularités dégénérées », sont instables car une petite perturbation – constituée par l'addition d'un terme engendre une nouvelle fonction dont les caractéristiques topologiques diffèrent de la précédente. En perturbant la fonction biquadratique $.x^2$ qui présente un minimum à l'origine, on obtient une nouvelle fonction comportant un maximum à l'origine et deux minimums locaux de part et d'autre (bifurcation de la singularité). La théorie des catastrophes, du moins dans sa version élémentaire, affirme qu'à l'origine de toute morphogenèse il y a une singularité dégénérée correspondant à ce que Thom appelle le *potentiel organisateur* de la catastrophe. Ainsi, la fonction cubique, la plus simple des singularités, engendre une forme élémentaire, le pli; la fonction biquadratique donne naissance à une catastrophe un peu plus complexe, la fonce. Un système dont l'état est formalisé, pour une valeur déterminée des paramètres, par une singularité dégénérée est naturellement instable. Une petite modification des paramètres régissant son comportement suffit pour le faire évoluer vers un état plus stable et plus différencié. Thom n'abandonne cependant pas ces fluctuations au règne de l'aléa ou de l'indéterminé. Son modèle tient en effet compte de la totalité des perturbations dont une singularité donnée peut a priori être le siège. Dans la mesure où elle ne laisse aucun interstice par où l'indéterminisme s'immiscerait, la théorie des catastrophes paraît plus rationnelle que la théorie des structures dissipatives. Toutes les déformations qui peuvent affecter une singularité dégénérée soumise à de petites perturbations sont contenues dans ce qu'on appelle *déploiement universel de la singularité*. Celui-ci, explique Thom, est une famille de fonctions qui paramétrise « *toutes les "actualisations" possibles contenues dans une situation instable par une*

singularité ». Dans le modèle catastrophiste, une singularité dégénérée détermine son propre déploiement; c'est pourquoi René Thom récuse avec force toute idée d'ordre par le bruit.

Le déploiement universel ne renvoie pas directement à une phénoménologie observable, mais engendre une structure géométrique permettant de rendre compte des morphologies empiriques, c'est-à-dire des discontinuités du comportement d'un système. Chaque fonction appartenant au déploiement représente en effet dans le modèle thomien une dynamique définie localement sur le substrat de la morphologie. Chacune de ces dynamiques locales possède un ou plusieurs attracteurs, dont il est permis de supposer que l'un d'eux a été atteint par le processus à l'origine de la morphogenèse. Si cet état attracteur est stable, le processus sera régulier et il n'y aura pas de discontinuité, donc pas de forme; si en revanche cet état attracteur est instable, il y aura discontinuité et donc morphogenèse. On retrouve ici, quoique à un autre niveau, l'idée fondamentale que le non-équilibre et l'instabilité sont facteurs de différenciation et d'organisation. Les faits de forme ne sont rien d'autre, au fond, que des réponses apportées par un système à l'apparition d'une situation d'instabilité. Parce que cette instabilité a en théorie des catastrophes un statut mathématique, on peut dire que les formes ont dans cette théorie une origine mathématique, plus précisément géométrique (*lire, page ci-dessous* « "Après Platon, après Kepler" ... »).



“Après Platon, après Kepler...”

En théorie des catastrophes, la complexité et le nombre des morphologies sont fonction de la dimension de l'espace sur lequel elles sont définies. René Thom a réussi à prouver que, dans l'espace-temps ordinaire, c'est-à-dire un espace à quatre dimensions, on ne peut rencontrer génériquement que sept potentiels organisateurs, correspondant à sept types de catastrophes. Il s'agit là d'un résultat qui requiert pour sa démonstration des théorèmes mathématiques profonds et difficiles. Il peut être considéré comme une généralisation des travaux du mathématicien américain Hassler Whitney sur les singularités des applications du plan sur le plan. Les sept catastrophes élémentaires ont été baptisées, par ordre de complexité croissante : pli, fronce, queue d'aronde, papillon, ombilic hyperbolique, ombilic elliptique, ombilic parabolique. Ces structures typiques constituent l'a priori morphologique qui se retrouve, au moins localement, dans les formes empiriques les plus

diverses. De ce point de vue, « *le modèle des catastrophes, comme l'indique Thom, est à la fois beaucoup moins et beaucoup plus qu'une théorie scientifique ; on doit le considérer comme un langage, une méthode [...] qui offre aux phénomènes un début d'explication qui les rende intelligibles* ». La reconduction catastrophiste des morphologies de l'espace-temps à un nombre fini de structures géométriques élémentaires rappelle la démarche de Platon qui, dans le « Timée », reconstruit le monde au moyen de cinq polyèdres réguliers. « *Si nous croyons que le monde a été construit par un demiurge mathématiquement doué et très astucieux, écrit Thom, alors le but du savant consiste à deviner comment ce demiurge a travaillé et à dévoiler ses secrets. Après Platon, après Kepler, qui inscrit les polyèdres réguliers platoniciens à l'intérieur des sphères planétaires, nous croyons toujours que les secrets de l'univers sont associés au jeu mystérieux de figures géométriques régulières.* » **A. B.**

Les films liquides de D'Arcy Thompson

L'idée d'une autonomie du monde des formes, d'une régulation spécifique de l'univers des structures n'est pas une idée nouvelle, y compris à notre époque. Elle inspirait déjà les travaux du biologiste et helléniste écossais D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948), auteur d'un traité qui deviendra un classique chez les théoriciens de la morphogenèse, « *On Growth and Form* » (« *Forme et Croissance* », 1917). D'Arcy Thompson y étudie une multitude de formes de la nature animée et inanimée et les explique par un principe d'extrémalité ou d'optimalité. Il s'intéresse par exemple à la forme des films liquides tels que les bulles de savon, lesquelles se présentent comme une sphère – ou à peu près. Le biologiste explique cette forme non pas en procédant à une analyse des interactions des molécules présentes dans le liquide, entreprise qui n'aurait du reste aucune chance d'aboutir, mais en faisant intervenir une contrainte globale d'extrémalité.

La sphère est une réponse globale à un problème simple de géométrie : étant donné un volume, déterminer la surface d'aire minimale contenant ce volume. Minimisant l'aire, la sphère minimise du même coup les forces de tension superficielles du liquide, et par conséquent l'énergie potentielle. En adoptant une forme sphérique, la pellicule atteint un état d'équilibre stable : si on déforme la sphère en exerçant une légère pression, elle reprend sa figure initiale. D'une façon générale, « *un film liquide en équilibre, explique D'Arcy Thompson, prend la forme qui lui donne une aire minimale compte tenu des conditions auxquelles il est soumis* ». Cette explication des formes par des contraintes d'extrémalité représente un progrès théorique considérable. Les travaux des théoriciens contemporains de la morphogenèse n'ont fait que donner aux intuitions de D'Arcy Thompson le fondement scientifique – physique et mathématique – qui leur faisait défaut. **A. B.**

Parvenus en ce point, nous touchons du doigt une des principales originalités des modélisations contemporaines de la morphogenèse, à savoir l'idée d'une indépendance de la forme par rapport au substrat, ce qui ne veut pas dire bien sûr qu'une forme peut exister sans support (*lire, page précédente, « les Films liquides de D'Arcy Thompson »*). La thèse centrale de la théorie de Thom comme de celle de Prigogine est qu'« *une certaine compréhension des processus morphogénétiques est possible sans avoir recours aux propriétés spéciales du substrat des formes, ou à la nature des forces agissantes* ». La matière a ses lois, les formes en ont d'autres.

Pour faire ressortir la singularité de la démarche, on peut recourir avec Thom à la métaphore de la boîte noire, empruntée à la théorie des systèmes. Le scientifique qui étudie le monde a de prime abord, devant lui, des objets dont il ne sait rien ou presque. Il n'en connaît ni les lois ni les rouages, mais constate qu'ils réagissent de telle manière lorsqu'ils sont soumis à telle sollicitation. Ces objets sont donc semblables à des boîtes noires, c'est-à-dire à des systèmes qui ne communiquent avec le monde extérieur que par le biais des entrées et des sorties. A tout instant, si l'on fixe l'entrée, le système émet des sorties. Dans les cas les plus simples, celui-ci répond sans ambiguïté aux questions qu'on lui pose : à une entrée bien définie correspond une sortie et une seule. L'ensemble des couples entrée-sortie obtenus au cours de l'observation répétée du comportement du système constitue un nuage de points qui tend vers une forme bien déterminée qu'on appelle la *caractéristique* du système.

Les théories morphologiques parviennent à rendre compte de l'allure de la courbe caractéristique des systèmes, c'est-à-dire du fonctionnement des boîtes noires sans rien connaître de leur mécanisme interne ni faire aucune hypothèse à son sujet. Elles appréhendent les morphologies empiriques en les prenant au niveau d'organisation où elles apparaissent, sans chercher à les déduire ni à les construire à partir d'un niveau d'organisation plus élémentaire. Ainsi, explique René Thom, la théorie des catastrophes est « *une théorie herméneutique qui s'efforce, face à n'importe quelle donnée expérimentale, de construire l'objet le plus simple qui puisse l'engendrer* ». Les morphologies observées sont, dans cette perspective, la projection d'une structure mathématique abstraite sur un substrat sensible. On peut qualifier cette position tout à la fois de phénoménologique et de holiste : les structures sont des phénomènes globaux sui generis, régis par une logique spécifique. Cette approche prend le contre-pied du réductionnisme, démarche habituelle en science qui va de pair avec le mythe du caractère fondamental de l'infiniment petit.

Prigogine pense cependant avoir réussi à dépasser « *le très ancien conflit entre réductionnistes et antiréductionnistes* ». « *Nous arrivons à une conception plus "équilibrée", écrit-il, des rôles respectifs des parties et des paramètres macroscopiques qui définissent le système comme un "tout". [...] Loin de l'équilibre, un régime de fonctionnement peut ressembler à une organisation parce qu'il résulte de l'amplification d'une déviation microscopique qui, au "bon moment", a privilégié une voie réactionnelle au détriment d'autres voies également possibles. Les comportements individuels peuvent donc, en certaines circonstances, jouer un rôle décisif,* » Cela montre que les théories morphologiques, loin de récuser le réductionnisme comme tel, en font simplement apparaître les limitations. Si le réductionnisme peut être retenu dans des situations relativement simples, il se révèle vite inopérant dès que le nombre de facteurs à considérer est trop important. Qui pourrait sérieusement prétendre rendre compte, par exemple, de la morphogenèse animale à partir de l'analyse des seules interactions moléculaires ? Dans des situations de ce genre, l'approche réductionniste fait figure d'idéal inaccessible. Elle doit céder la place à une analyse globale seule susceptible de procurer un commencement d'intelligibilité au phénomène considéré, c'est-à-dire de réduire l'arbitraire de sa description.

Les théories morphologiques que nous venons d'examiner ont en commun de parler du monde « *sans en passer par le tribunal kantien, comme le dit Prigogine, sans mettre au centre [...] le sujet humain défini par ses catégories intellectuelles, sans soumettre leur propos au critère de ce que peut penser légitimement, un tel sujet* ». « *Pour les "catastrophistes" héraclitéens, écrit pour sa part René Thom, un monde existe "a priori", celui des objets macroscopiques que nous rencontrons tous les jours.* » De ce point de vue, les théoriciens contemporains de la morphogenèse défendent ce qu'on pourrait appeler un « réalisme de la forme ». Cela signifie en particulier que les mathématiques, qui entrent dans leurs modèles, ne sauraient être simplement considérées comme un instrument au service de la nature, mais sont, si paradoxal que cela puisse paraître, inscrites dans la nature elle-même. C'est d'ailleurs ce que rappelait le philosophe des sciences Jean Largeault, d'après qui « *on n'a pas besoin de longues observations pour se convaincre que la nature a inventé les mathématiques avant l'homme. Les physiciens dégagent les mathématiques implicites dans la nature en découvrant ses symétries cachées. Les mathématiciens en font systématiquement la théorie* ».

A travers et au-delà même de cette thèse réaliste, s'esquisse ce qui paraît être le véritable enjeu de ces théories. Celles-ci ne fournissent pas seulement à la science de nouvelles méthodes permettant d'appréhender l'univers des formes - que sa complexité rend inaccessible à l'analyse quantitative ordinaire-, mais dessinent les contours d'une autre figure de la science elle-même. Elles montrent que la science ne s'épuise pas dans le calcul et dans la prédiction des phénomènes, mais peut participer elle aussi au dévoilement du réel. Ces théories réactivent au bout du compte une vieille idée de la science, la seule peut-être qui soit réellement tenable: une science dont l'ambition première n'est pas l'action, la

transformation du monde, la maîtrise et la possession de la nature, bref, la technique, mais au contraire la compréhension, l'intelligibilité - toujours locale, et en même temps à prétention universelle -, contribuant ainsi à rapprocher la science de la philosophie, voire à faire de la science une philosophie, d'autant que, comme le déclare René Thom, « *on ne voit pas ce que pourrait être une science, sinon la philosophie elle-même* ».

POUR EN SAVOIR PLUS :

- « *Forme et Croissance* », de D'Arcy Wentworth Thompson (1917 ; Seuil, 1994).
- « *la Nouvelle Alliance* », d'Ilya Prigogine et Isabelle Stengers (1979 ; « *Folio Essais* »/Gallimard, 1986).
- « *Modèles mathématiques de la morphogenèse* », de René Thom (Bourgeois, 1981).
- « *Paraboles et Catastrophes* », de René Thom ((*Nouvelle Bibliothèque scientifique*))/Flammarion, 1989).
- « *Principes de philosophie réaliste* », de Jean Largeault (Klincksieck, 1985).

Modeste contribution aux thèmes sur l'émergence

*Lecture critique de l'ouvrage
« Qu'est-ce que l'émergence »
de Hugues Bersini*

Hugues Bersini, Directeur de Recherches et Professeur
à l'Université libre de Bruxelles
(Ouvrage paru chez Ellipses, 2007)

par Gilbert Belaubre

Chez Bersini, le point crucial est le statut ontologique d'une connaissance.

Son ouvrage « Qu'est-ce que l'émergence » présente, au travers de citations innombrables (et souvent contradictoires) le borbier intellectuel que représente l'ensemble des réflexions sur l'émergence depuis plus d'un siècle. Pourquoi s'embourbe-t-on dans l'émergence ? C'est que le débat porte sur la nature ultime, ontologique des phénomènes étudiés. Attribuer à l'ontologie la solution d'un questionnement scientifique marque l'intention de clôturer la connaissance, puisque l'ontologie nous est inaccessible. A travers une remarquable présentation des travaux de simulations développés à partir des idées et des créations de Turing et de von Neumann, puis dans l'étude des phénomènes physiques et chimiques entre successions d'états microscopiques et macroscopiques, l'auteur plaide pour l'acceptation du terme « émergence » dans une acception « faible », c'est à dire pour caractériser le fait que dans un milieu, examiné à un certain niveau, les interactions des éléments sont tellement difficilement modélisables qu'une description menée au niveau supérieur (par la tailles des données mesurables) nous donne une description satisfaisante d'un ensemble dont les propriétés « émergent » du substrat. Cette définition faible ne préjuge pas d'un travail d'investigation qui permet souvent de faire le lien entre les propriétés et interactions au niveau « inférieur » et celles du niveau « supérieur »

Pourtant l'auteur hésite à admettre les phénomènes biologiques dans ce schéma.

Dans l'étude des phénomènes de la vie, le dualisme qui a régné sur près de deux millénaires (au moins, après l'animisme toujours présent) est indissociablement lié à une séparation ontologique entre l'inerte et le vivant. La complication extrême des phénomènes de la vie paraît élever une barrière infranchissable devant le projet de réduire ces phénomènes à des interactions entre les parties constitutives des objets étudiés ou aux processus qui y ont leur siège. La séparation ontologique, dite « émergence forte » a donc de nombreux partisans.

Pour aborder l'ensemble de ces problèmes, l'auteur fait appel à deux personnages fictifs qu'il nomme Mic Jim et Mac Jim .

Mic Jim et Mac Jim représentent des observateurs à l'œuvre à deux niveaux successifs, le niveau « élémentaire » où se situent des composants dont les tailles sont du même ordre de grandeur (Mic pour microscopique), et le niveau « global » où ces mêmes éléments, du fait d'un « agrandissement », ne sont plus examinés un par un mais dans l'ensemble qu'ils forment. Le terme d'agrandissement, dérivé de la notion de grain en photographie, est utilisé par Gell Mann pour désigner ce que nous percevons d'une image vue à différentes grosseurs de grain.

Mic Jim examine les comportements des éléments, construit des théories et des lois qui décrivent leurs états et leurs évolutions, qui analysent leurs relations réciproques.

Mac Jim observe l'ensemble, son état et son évolution, définit des théories et des lois qui tendent à le décrire.

Mic Jim et Mac Jim sont des observateurs.

Dans la mesure où ces observateurs décrivent les événements qui se produisent à leur échelle, ils ne diffèrent pas de l'observateur humain et toute discussion sur la place de l'observateur humain dans ce schéma est sans objet.

Je suis donc très étonné, de lire, après que Bersini ait décrit le travail de ses deux « démons », la phrase ci-après :

« les objets « connaissent » précisément la manière dont ils interagissent, ils reproduisent pil-poil le savoir du scientifique ».

Dans cette phrase, non seulement les objets sont dotés de capacités humaines (et d'obéissance), mais le scientifique apparaît comme le maître et l'animateur du monde.

Toute discussion sur la réalité ontologique du phénomène élémentaire ou du phénomène émergent est également sans objet, puisque Mic Jim comme Mac Jim ne peuvent faire que des hypothèses invérifiables sur l'ontologie, du moins dans la version « forte » de l'émergence.

L'auteur réfute cette hypothèse « forte » qui sort du champ scientifique

« Cette version forte sera rejetée dans le reste de l'ouvrage , car sortant du cadre des sciences, du moins comme le les pratique et les comprends ».

Et pourtant, Bersini essaie d'aller vers la fascinante ontologie :

« Néanmoins, ce même physicien, chimiste ou économiste s'avoue perturbé et incommodé par la présence et ce rôle central qu'il reconnaît à l'observateur ; Il n'est pas sans savoir que la science bonifie par objectivation croissante, qu'elle se raffermir d'autant qu'elle se distancie du scientifique. Si la philosophie l'intéresse, il cherchera donc, dans sa réflexion, à atténuer au mieux le rôle joué par l'observation humaine, en s'efforçant de rationaliser la mission simplificatrice ou facilitatrice jouée par cette observation. Il cherchera également des pistes d'autonomisation ontologiques de ces phénomènes émergents.

Dans cette citation, il y a un risque de confusion entre l'ontologie au sens philosophique avec ce que notre représentation nous suggère de la réalité ultime (provisoirement ultime sans doute) des phénomènes étudiés. Je ne vois pas comment l'observation pourrait être détachée de l'observateur, à moins de lui attribuer, par une pirouette, un statut ontologique. La dernière phrase de la citation appelle cette supicion.

Si, en revanche , on désigne par ontologie ce qui, dans la représentation de l'un ou l'autre observateur, relève de sa croyance à la réalité ontologique de sa représentation, il s'agit alors

d'une croyance « forte » à l'efficacité de la théorie. Cela reste une croyance, mais elle est incluse dans la représentation..

Le leitmotiv de beaucoup des écrits sur l'émergence est « Le tout est plus que la somme des parties ». Qu'est-ce que c'est que « la somme » ? Les parties sont-elles des abstractions que l'on ajoute ? L'examen, au niveau élémentaire, nous donne une représentation d'objets dans la mesure où l'observateur construit des objets dans sa représentation. Mais dans les événements qu'il analyse, l'observateur ne peut distinguer des objets que dans leurs relations réciproques et dans leurs relations avec son système de perception. La représentation symbolique des « objets » en découle avec une efficacité incontestable. En revanche, dès que les « objets » sont nombreux, leurs interactions sont pratiquement hors de portée de nos investigations. Poincaré a réussi à traiter le problème des trois corps. Il serait illusoire d'aborder le problème d'« un grand nombre de corps ». C'est pourtant ce problème que l'on attaque globalement dans l'étude qu'en fait Mac Jim.

Il est certain que la nature nous offre des ensembles, à différents niveaux d'échelle, où nous reconnaissons toutes sortes de symétries (au sens large adopté par la physique). Que nous interprétions l'apparition de ces symétries comme résultant de l'accumulation des interactions « élémentaires », en termes de causalité ascendante, ou ascendante-descendante, ou comme téléologie, ou comme hasard suivi de sélection, chacune de ces interprétations résulte d'un choix de l'observateur qui peut être guidé par ses a priori culturels ou métaphysiques. Mais nous ne quittons pas pour autant le domaine de la représentation.

Les événements que nous percevons, et auxquels nous attribuons une réalité, nous les concevons comme les signaux de phénomènes, auxquels nous attribuons encore une réalité, mais sans doute moins contraignante. Que dans ces phénomènes nous fassions le partage entre « objets » et « interactions entre objets » est un pas de plus dans la complexité de notre représentation, mais un pas qui nous éloigne encore un peu de la réalité, c'est à dire de la pertinence d'une « naturalisation » de l'observateur.

Parmi les nombreuses citations que Bersini donne de l'ensemble des écrits sur ce sujet, je retiens celle qui me semble le plus assurée par rapport aux considérations ci-dessus : elle est de Francis Crick :

« La signification scientifique d'émergence reconnaît que, bien que le tout puisse être autre chose que la simple addition des parties séparées, son comportement peut, en principe, être compris à partir de la nature et du comportement de ces parties, plus la connaissance de la manière dont ces parties interagissent ».

Cette phrase met évidemment l'accent sur la connaissance des interactions entre parties, élément fondamental justifiant la notion d'émergence.

Bersini réfute la notion d'émergence « forte », comme sortant du domaine scientifique. Et pourtant, cette notion le fascine. Et pourtant, il reste jusqu'au bout dans le champ scientifique, et il apportera, s'il accepte de participer à notre colloque une contribution essentielle car il maîtrise l'ensemble des problématiques de l'émergence

J'adhère donc d'autant plus, au terme de cette réflexion sommaire, à l'idée contenue dans le titre donné en principe au congrès sur l'émergence

« l'émergence, de la fascination à la compréhension ».