

**Août 2006**

## **Résumé de Pierre Rouault du livre « La Complexité Organisée » de Alain Cardon**

### **Présentation générale**

#### **L'auteur**

Professeur à l'Université du HAVRE  
Chercheur Permanent  
Au LIP6 de l'Université de PARIS VI

#### **Le livre**

...

*« C'est une tentative pour proposer un changement de paradigme :  
considérer les systèmes organisationnellement complexes  
sous l'angle constructiviste de la vie artificielle  
et rompre avec l'usage systématique  
des méthodes équationnelles.... »*

#### **La méthode**

*« La puissance établie de la communauté mathématique ne permettra  
certainement pas de réaliser cette transformation :  
l'informatique devient une technologie utilitaire  
et la science des modèles n'existera pas. ...  
L'usage de systèmes multiagents massifs est très rare, les spécialistes  
ne connaissant toujours pas, ce qui est quand même étrange, les moyens  
d'en réaliser le contrôle morphologique, ce que je sais faire en utilisant  
un peu de topologie algébrique... »*

#### **Le plan**

1 La science et la connaissance:  
vers les modèles calculables

2 La complexité organisationnelle:  
un regard direct sur les objets  
et les phénomènes complexes

3 Le champ organisationnel  
et les systèmes profondément complexes

4 Complexité profonde et calculabilité  
de la complexité profonde

5 Modélisation par agents d'un phénomène organisationnellement complexe

## INTRODUCTION

9

**pourquoi ?**

**comment ?**

### Introduction

Pourquoi la matière s'est-elle organisée pour produire le déploiement extraordinaire du vivant qui recouvre la Terre entière, qui a évolué à partir de formes réactives en allant avec le temps vers des ormes capables de produire de la pensée? C'est une question centrale, majeure pour l'homme dans sa posture d'être social dominant sur sa planète, mais il propose généralement des réponses radicales qui évacuent le problème. Une première réponse revient à affirmer que la matière est organisée car elle a été conçue comme cela par une exigence supérieure, et rien d'autre n'est plus à dire à ce sujet. Une seconde réponse, opposée mais revenant finalement au même, affirmant que la matière s'est organisée d'elle-même, grâce au seul hasard formidablement bénéfique, dans le mouvement des possibles et par la sélection qui opère sans cesse en permettant l'évolution.

10

**démarche**

**La complexité organisée**

Nous allons aborder le problème de l'organisation de la matière et proposer des réponses, du point de vue d'un constructeur de systèmes. C'est une approche particulière, originale. Un constructeur de systèmes, contrairement à un chercheur spécialisé qui étudie le réel en l'observant sous certains éclairages spécifiques, ne peut se contenter d'aucune métaphore sur ses objets d'étude, ne peut s'appuyer sur aucun formalisme inspiré, ne peut poser de relations causales invérifiables, car ce qu'il réalise, le système qu'il a construit, fonctionne ou ne fonctionne pas, il fait ou ne fait pas les actions prévues, il a ou n'a pas tel comportement. Mais avant que de réaliser le système, il faut le concevoir, c'est-à-dire décider comment et pour quelle raison il aura telle ou telle architecture.

11

**simple/complexe**

**complexité organisationnelle**

**profondément complexe**

**champ organisationnel**

Il Y a des systèmes simples et des systèmes complexes. La notion de complexité qualifie l'organisé par un caractère limite. Elle désigne habituellement ce qui est de très grande complication, en se référant à un nombre très élevé de composants repérés dans l'objet et à un comportement difficilement prévisible. Elle signifie une certaine impossibilité à exercer, sur l'objet référé par le système qui le décrit, un contrôle total, en ne pouvant en avoir une connaissance entière. Mais un tas de sable, composé d'innombrables grains que l'on ne sait ni dénombrer précisément ni localiser spatialement n'est pas complexe, alors qu'une cellule somatique que l'on observe au microscope, le sera. Et un primate, n'importe quel primate qui chemine sur la Terre, est beaucoup plus complexe qu'une cellule, dont il est pourtant principalement constitué. Beaucoup plus complexe, mais en quel sens? Que désigne-t-on lorsqu'on qualifie un objet ou un système de complexes?

La notion générale de complexité fait appel à la connaissance que l'on peut avoir à propos d'un objet organisé, à la notion de compréhension de sa composition, de son fonctionnement et de son comportement. Lorsque cette connaissance sera limitée par le fait du processus d'organisation des composants de l'objet, par la façon dont celui-ci se comporte et se modifie dans sa forme et sa structure interne, alors on pourra parler de **complexité**. Sinon, si l'objet est formé d'éléments même très nombreux mais en relations fixes et que seul leur nombre élevé limite toute précision fine d'une représentation à lors que le comportement général reste quand même bien maîtrisable, il sera plus raisonnable de dire que l'objet est **compliqué**. La notion de complexité sera donc entendue au sens organisationnel et précisera un Caractère systématiquement changeant et évolutif d'un objet.

Nous montrerons que l'on peut trouver une relation générale à propos des objets qui permette de les qualifier soit de compliqués, soit de complexes et de distinguer le vivant organisé complexe de l'inanimé compliqué. Cette relation permettra aussi de distinguer l'organisation de la matière, allant du simple au compliqué, puis du compliqué au complexe et enfin du complexe à ce que nous nommerons le **profondément complexe**. Le complexe a en effet des catégories, allant de l'objet complexe simplement réactif jusqu'à celui générant des représentations de sa propre situation et portant alors la complexité à sa limite.

Nous introduirons, pour expliquer l'existence de la complexité organisée, la notion centrale de **champ organisationnel** ...

## CHAPITRE 1 La science et la connaissance : vers les modèles calculables

### La démarche scientifique

Tout développement scientifique ne peut que se situer dans son monde, dans son époque. La science est la connaissance raisonnée des événements du monde et de l'homme, pour les expliquer, à un moment donné. C'est un mode particulier de la connaissance qui consiste à associer aux événements des modèles plus ou moins sophistiqués qui en expliquent le déroulement, les causes et les effets. Elle procure une certaine maîtrise de la temporalité par la prédiction. Par cette ambition de tout expliquer à propos du réel, c'est une démarche que l'on peut ainsi qualifier de totale...

15

### connaître

#### 1.1.1. Connaissances et visions du monde

L'homme, et c'est l'une de ses particularités parmi les êtres vivants, s'intéresse au monde pour y vivre le mieux qu'il le peut. Ayant la faculté de penser les choses en les situant dans l'espace et le temps, et la faculté de raisonner en déployant des situations dans le futur, il s'attache, nécessairement à connaître et modifier ce monde dans lequel il passe sa vie. Mais il lui est nécessaire de questionner, dès qu'il pense.

17

### approche constructiviste

La philosophie a débattu, débat et débattera longtemps encore de ce qu'est connaître, en en parlant selon différents modes. Il n'y a là rien à trancher, rien ne pouvant faire vraiment décision, puisque ces théories n'intègrent pas le système qui produit la connaissance comme système. L'approche de Paul Ricoeur à propos de la connaissance semble plus réaliste [P. Ricoeur, *Soi-même comme un autre*, Le Seuil Paris, 1990]. Selon la thèse de P. Ricoeur, le fait de penser simplement à quelque chose ici et maintenant n'est pas la constatation d'un fait ni la marque d'une croyance très subtile, mais est une prise de position, la marque d'une intention que P. Ricoeur appelle une attestation. Nous suivrons plutôt cette voie, et pour nous, connaître et même penser s'appréhenderont simplement: nous adopterons une **approche constructiviste**, effectivement constructiviste, ce qui nous permettra de caractériser le système générateur de pensées et même d'envisager d'en construire un qui soit artificiel. Nous nous engagerons dans la voie systémique de la connaissance comme production d'un certain système, et permettant même à une certaine «machine» de connaître, de penser et d'avoir conscience d'un Soi.

21

## **les 4 causes d'existence**

Mais peut-on préciser les raisons qui font qu'une chose existe de la façon dont elle nous paraît exister? Ces raisons sont-elles multiples? Aristote distinguait quatre causes à propos de l'existence de tout objet. Il s'intéressait à la question de la raison d'être d'un objet qui est là devant nous et le plaçait alors comme tel dans l'ensemble des phénomènes du monde. Alors, tout objet apparaît et ne peut apparaître tel il est que selon quatre causes:

- 1. **la cause matérielle**, qui est la matière dont l'objet est fait. Par exemple, le robot est fait de matière plastique, de silicium et de métal,
- 2. **la cause de forme**, qui est la forme dans laquelle entre l'objet. Par exemple, le robot a une forme humanoïde avec des bras et des jambes artificielles articulés,
- 3. **la cause finale**, qui est la fin d'usage ou de relation ayant entraîné l'objet à être. Par exemple, le robot est utilisé pour des expériences de laboratoire,
- 4. **la cause efficiente**, qui est ce ou celui qui produit effectivement l'objet. Par exemple, le robot a été fait par une société japonaise spécialisée dans la construction des automates mobiles.

26

## **modèle : du phénomène à la conception**

### **Modèle**

Un modèle est une fonction de connaissabilité, une forme intermédiaire explicite permettant de passer du phénomène que l'on observe à une forme conceptuelle permettant de le comprendre, de le connaître, de savoir ce qu'il est, de prévoir son comportement et évidemment de transmettre cette connaissance à d'autres observateurs s'il en est besoin.

41

## **complexité en informatique**

Il reste toujours une question et d'importance. Les notions usuelles de complexité en informatique s'appuient sur la notion d'instruction élémentaire (En fait, d'action élémentaire dans une machine de Turing). La mesure morphologique s'appuie sur des processus, c'est-à-dire des programmes en exécution ou des activités physiques en train de se dérouler. Comment caractériser ces processus, comment fournir leurs caractères. Il sera nécessaire de préciser la notion de variable pertinente, de structure calculable pertinente, de modèle pertinent, et cela n'a rien d'évident. La physique a permis de rendre intelligible certains phénomènes à l'aide de variables d'état comme la pression, la vitesse, la quantité de mouvement, l'entropie... Mais quels sont les « bons » processus requis pour représenter de manière intelligible un phénomène organisé comme un mammifère ou une ville. Ce ne sont certainement pas, pour ces deux cas respectivement le génome ni le nombre d'habitants... Nous allons nous engager dans la voie de l'explication constructive de l'intelligibilité des phénomènes que nous qualifierons de complexes. Il s'agira, finalement, de dégager les processus calculables pertinents et d'explicitier leurs communications pour comprendre ces phénomènes.

Nous allons présenter la problématique de ces systèmes, en précisant d'abord leur place dans la hiérarchie de tous les systèmes délivrant des connaissances et ensuite présenter comment nous pouvons les concevoir. Il s'agit de nouveaux systèmes étudiés selon un nouveau paradigme scientifique. La puissance de la science informatique, utilisée pleinement et pour elle-même, prend enfin sa place dans ce champ de problématique.

## **CHAPITRE 2 La complexité organisationnelle : un regard direct sur les objets et phénomènes complexes**

### **Complexité**

#### **Objet proactif**

Après avoir présenté le cadre de développement de la science, nous devons poser les bases conceptuelles amenant à la notion précise et effective de complexité. Il est indispensable de préciser très finement la terminologie employée. Le flou qui entoure toute la terminologie sur la complexité est en fait une barrière commode pour évacuer le problème qu'elle pose. Qu'est-ce qu'une chose, un objet, un objet qualifié d'organisé? Comment définit-on un système qui décrit le comportement et les mouvements d'un certain objet organisé et permet de le comprendre? Nous allons définir ces concepts.

46

#### **objet**

#### **d'objet à système**

Un objet est une chose qui ne subit pas de transitions spontanées et qui est Représentée précisément dans l'esprit de l'observateur, c'est-à-dire bien conçue et bien identifiée en tant que telle. C'est la représentation qualifiable, très souvent quantifiable et toujours descriptive d'une chose dotée d'une certaine permanence. C'est le correspondant, dans le domaine des idées, d'une chose qui a une permanence, sinon une stabilité, c'est ce qui correspond à une chose reconnue comme telle dans l'esprit et la mémoire d'un observateur. Ce perçu, qui peut être plus ou moins élaboré selon les cas, peut être désigné par des formes langagières précises et il est connu, dans l'esprit, comme adressant une chose extérieure à la représentation elle-même, et qui existe. Nous précisons aussi qu'un objet est la représentation d'une chose vraie, qui existe pour soi effectivement et que l'on désigne. On peut dire que l'homme, l'observateur, perçoit des objets en appréhendant les choses du monde par ses sens et son aptitude au discernement, mais notons bien qu'un objet correspond à une chose sans être évidemment son équivalent. Un exemple d'objet est ce qu'est pour moi cette chose de petites dimensions, de couleur claire, qui m'est familière et qui est posée sur cette table devant moi: c'est ce livre.

53

#### **exemple**

#### **objets considérés a priori comme complexes ?**

Un objet est considéré comme a priori complexe s'il ne semble pas possible de dégager simplement un ensemble de variables significatives simples pour le décrire et le comprendre.

54

#### **Système, définition générale**

Un système est une représentation précise et structurée à propos d'un objet réel organisé dans le but de le maîtriser conceptuellement...

57

### **Proactivité et système proactif**

Un objet est proactif s'il est actif, c'est-à-dire apte à l'action effective sous différentes formes sur son environnement, s'il est systématiquement émetteur et récepteur d'énergie et d'informations, et surtout s'il est actif pour son propre compte et de son propre fait, de par son initiative et sans nécessiter l'injonction d'un stimulus vu comme déclencheur par un choc. Ce caractère se fonde sur la structure de l'objet, lui permettant la capacité de mémoires factuelles à propos des événements.

58

### **niveau proactif**

Le niveau proactif de la matière est celui de l'existence d'objets individualisés, se distinguant de manière pérenne de leur contexte, et pouvant mémoriser les stimuli pour réagir de manière opportune par la suite. C'est le niveau à partir duquel va pouvoir se déployer la notion de **complexité organisationnelle**.

58 59

### **exemples**

Donnons quelques exemples d'objets organisés conduisant naturellement à la notion de système:

- Une cellule vivante, constituée d'interactions moléculaires,
- Un logiciel distribué, construit selon le paradigme agent et constitué de nombreux agents proactifs,
- Un moteur de voiture moderne, composé des nombreuses parties fortement connectées assurant son fonctionnement,
- Une raffinerie de pétrole, constituée de toutes ses structures particulières de production et d'acheminement des fluides,
- La forêt équatoriale, qui forme un écosystème aux multiples éléments végétaux et animaux en interrelation,
- Le réseau routier dans une grande ville occidentale,
- Le système solaire avec ses planètes et leurs satellites dans leurs trajectoires de gravitation dépendantes,
- L'obtention d'une majorité à la chambre des députés, avec les tactiques des différents groupes et des individus fascinés par leur carrière,
- La gestion des personnels de la SNCF,
- Le fonctionnement de la Bourse de Paris,
- L'univers,
- L'homme qui pense,
- L'ensemble des pensées exprimées par les humains sur la Terre, lorsqu'ils parlent et écrivent pour communiquer entre eux,

63

### **La connaissabilité d'un objet**

Connaître un objet est avoir à son propos, d'abord, l'intention d'expliquer les raisons de certains aspects de son comportement de son état organisé et parfois même de produire les raisons, l'étendue et les conséquences de son existence. C'est une action dirigée vers l'objet et peut-être aussi de l'objet vers l'observateur.

Notons que pour certains objets comme les objets organisés du vivant, les Connaissances comportementales re lèvent de disciplines scientifiques du domaine des sciences humaines (psychologie, sociologie, éthologie...), alors que les

connaissances organisationnelles relèvent plutôt des sciences expérimentales (biologie, chimie, physique...) et que la modélisation, la construction du système de représentation, relèvent des mathématiques et de l'informatique. La notion de domaine de considération peut être définie selon un certain protocole précis, mais elle est toujours relative aux compétences et qualités de l'observateur et à son intérêt pour l'objet. On peut formuler une question que l'on considérera comme centrale à propos de cette connaissabilité. Cette question sera dite centrale car elle interpelle entre la séparation, discutable pour l'être de l'homme, entre une démarche scientifique distincte de toute méditation philosophique.

67

### **les caractères**

Le caractère d'appréciation comportementale réfère à l'action de l'objet organisé vu comme une entité qui se place en situation d'action dans son environnement. Ce caractère, pour devenir connaissance exploitable, peut être formalisé et devenir ce que l'on appellera une mesure comportementale. Nous entendons ici par mesure une structure, comme un ensemble composé de variables, un graphe ou encore un algorithme, et que l'on peut doter, sans ambiguïté, de propriétés mesurables que l'on peut apprécier en termes de facilité ou de difficulté à être calculées. Une telle mesure peut être donnée par la définition du plan d'action de l'objet (mouvements, gestes, sons émis... qui sont tous représentés par des structures de données qui décrivent les conditions et les caractères de ces actions). Elle peut se représenter dans le cadre de la plupart des études scientifiques, par la construction d'un certain hypergraphe d'activités dans un espace comportemental ramené à un espace métrique. Remarquons qu'une telle structure peut aussi être un réseau sémantique, dans le cadre de l'intelligence artificielle.

Le second caractère, qui sera également apprécié comme étant une mesure, réfère au fait que l'objet organisé est, en ce qui concerne sa constitution courante, décomposable en de nombreuses entités en relation qui forment ainsi de nombreux agrégats dynamiques dont les mouvements organisationnels produisent un certain état global. Cet état global peut lui aussi être apprécié par une structure qui sera considérée comme mesurable. Cette mesure peut être donnée par les mouvements, interactions, agrégations et activités des entités composant l'objet organisé. Elle se représentera en général par un hypergraphe de processus définis dans un certain espace de formes, un espace que nous avons appelé par ailleurs espace morphologique [A. Cardon, Modéliser et concevoir une machine pensante, Vuibert, 2004].

93

### **membrane**

La membrane d'un objet organisationnellement complexe est sa structure limitative et structurante. Elle est filtrante et communicante, constituée de processus fonctionnels permettant l'ouverture de l'objet sur son environnement et, par cela, l'apport, le rejet et l'échange continus d'énergie et d'informations avec l'intérieur de l'objet qui se voit ainsi fonctionnellement situé. La membrane engage à la réalisation de l'adaptation nécessaire de l'objet dans son environnement en le distinguant comme entité autonome.

96 97

### **complexe, compliqué, chaotique**

Un objet compliqué devient complexe lorsque ses composants ont des degrés de liberté leur permettant d'être très concurrents sur de nombreuses actions et lorsque la structure de l'objet lui permet de régler, par confinement et sélection, les activités de ses composants dans le sens de la conservation de son ipséité.

Un objet complexe devient chaotique lorsqu'il ne peut plus auto-coordonner les actions de ses composants pour maintenir son comportement global en bonne adéquation de stabilité avec l'environnement.

98

### **la question la plus profonde**

En étudiant un objet organisationnellement complexe, on est nécessairement amené à se demander comment et pourquoi il est tel il est, quel est le processus évolutif qui l'a fait être de cette manière sous cette forme qui lui donne son apparence, et comment son état organisé concourt finalement à son comportement. En fait, cette question revient à poser celle-ci, qui est plus profonde : qu'est-ce qui a conduit la matière à s'organiser par elle-même pour produire ces objets très autonomes, qui ont des aptitudes propres et qui prennent, en s'activant, des postures si singulières?

## CHAPITRE 3 Le champ organisationnel et les systèmes profondément complexes

121

### **Martin HEIDEGGER** **Comprendre le complexe**

Toutes les fois que nous approfondissons et que nous fondons sur des raisons, nous nous trouvons sur un chemin conduisant au fond.  
Sans le savoir au juste, nous sommes constamment interpellés et, de quelque manière, invités à être attentifs aux raisons et au fond.  
Martin HEIDEGGER Le principe de raison

Nous allons, dans cette partie, tenter d'aller au fond du questionnement. Il ne s'agit plus de trouver des mesures relatives à la complexité d'une certaine entité physique par des longueurs de programmes qui calculeraient la valeur d'une fonction correspondant à cette entité. Il s'agit de comprendre pourquoi des objets sont complexes, pourquoi la classe de ces objets a la propriété de s'être organisée de façon de plus en plus complexe, en suivant une évolution remarquable. La complexité n'est pas un fait accidentel mais un processus délibéré de la nature, conduisant l'évolution des structures matérielles dans le temps.

Un objet est complexe s'il est composé de parties en interactions incessantes et si ces interactions, finalement, le constituent comme un tout organisé ayant certaines régularités et une certaine permanence. Ces objets complexes sont des objets du vivant ou du social, celui-ci étant lui-même composé d'individus complexes. Les questions sont les suivantes: à partir de quel niveau la complexité va-t-elle se constituer dans la nature, se développer, s'amplifier, et sur quoi se base-t-elle pour être? A quel principe existentiel obéit-elle?

Nous allons proposer des réponses à ces questions; Nous affirmerons que le niveau minimal à partir duquel la complexité organisée peut se déployer est le niveau d'existence de **proactivité** dans l'objet. La proactivité d'un objet est son aptitude à agir pour son compte. Cela implique que l'objet soit apte à mémoriser des situations passées et puisse s'en servir dans le présent. Mais cela n'est pas suffisant pour expliquer la raison du déploiement de la complexité, de l'évolution systématique vers des objets très organisés.

Nous allons, pour justifier la complexité, poser l'existence d'un champ, **le champ organisationnel**, qui pousse les objets proactifs à s'agréger, à se multiplier, à se diversifier et se combiner systématiquement pour former des objets de plus en plus complexes. Ce champ est fondé sur une propriété du temps qui engage tous les objets proactifs, mémorisant leur passé dans leur structure pour agir de manière adéquate dans le présent, à suivre la voie de l'organisation la plus grande. Il n'y a ainsi de hasard que dans le présent des possibles. Le passé est clos et le futur engage à la complexification de ce qui est organisé, il contraint les possibles en provoquant le réel vers une complexité toujours plus grande. Telle sera la vision du monde que nous développerons.

127

### **champ et organisation**

L'appréhension de l'organisation de la matière macroscopique comme manifestation d'un champ revient à considérer que cette matière ne s'organise pas seulement comme résultats de mouvements matériels soumis à l'effet du hasard des rencontres, mais présente des états localement structurés sous l'effet d'une certaine force partout latente: la force organisatrice d'un champ, qui incite la matière à mémoriser ses conformations pour que celle-ci puisse se développer structurellement sans cesse à partir d'elle-même.

145

### **hypothèse de réalisation du vivant artificiel**

Si l'on admet que le champ organisationnel est nécessaire pour générer la complexité organisée faisant être les phénomènes réels complexes, il sera naturellement possible de concevoir et de construire du complexe artificiel, c'est-à-dire de produire du vivant artificiel par transposition du champ organisationnel dans le calculable. Ceci est l'hypothèse forte sur la faisabilité du vivant artificiel allant jusqu'à la conscience artificielle.

150

### **exemple**

Cette position de principe à propos de l'état générateur d'un objet complexe rejoint le point de vue développé par Kupiec et Sonigo à propos du génome [Kupiec J.-J. & Sonigo P., Ni Dieu ni Gène, Le Seuil, 2000]. Le plan génomique ne détermine évidemment pas complètement l'organisme au niveau phylogénique, car l'information contenue dans les gènes est absolument insuffisante. Il n'y a pas de processus directionnel qui serait complètement inscrit dans les gènes, allant de ceux-ci qui guideraient complètement la formation des polypeptides et des protéines, jusqu'à la formation des organes et de tout l'organisme. Il y a une certaine conduite de la construction qui a de nombreux degrés de liberté, mais qui est finement biaisée pour conduire à la formation des nouveaux processus. Il y a des centres organisateurs localisés qui réduisent le hasard à une certaine échelle, comme, par exemple, les inducteurs (inducteur de Spemann, BMP, molécules signalisatrices tangentielles, gènes et protéines homéotiques et Hox...), qui coordonnent, contraignent, déploient les processus autour de rôles fonctionnels spatialisés dans l'organisme en construction. Il y aura aussi des centres organisateurs localisés dans l'évolution des espèces vivantes et qui seront les zones de sélection par affrontements des représentants de l'espèce avec l'environnement.

161

### **hypothèse de calculabilité**

La réalisation du champ organisationnel d'un objet complexe opère comme un ensemble de très nombreux centres organisateurs localisés synchronisant les mouvements de la matière à de nombreuses échelles dépendantes. On peut poser qu'il est possible de réduire la cardinalité de ces centres organisateurs localisés en se basant sur des éléments de représentation symboliques fortement expressifs et synthétiseurs des effets. On peut ainsi obtenir une réalisation calculable descriptive du champ d'un objet complexe.

163

### **flèche du temps et champ organisationnel**

Il y a nécessairement un rapport entre un temps irréversible, c'est-à-dire l'existence de la flèche du temps qui est familière à partir de l'échelle macroscopique, et l'existence du champ organisationnel, qui incite la matière, à cette échelle, à se comporter de manière systématiquement organisée. Il s'agit d'un rapport ontologique.

169

### **la raison de l'évolution du vivant**

L'existence a priori du champ organisationnel comme force s'exerçant sur la matière ayant franchi le seuil de la proactivité pour y ancrer, en utilisant le temps, de l'ordre structurel de plus en plus complexe, fournit une raison intelligible à l'existence et à l'évolution du vivant.

176

### **3.2. Le temps et la mesure de la complexité**

Il nous faut aller plus loin, pour justifier de l'existence du champ organisationnel comme incitateur systématique de l'organisation des choses, permettant le déploiement du vivant. Il nous faut caractériser le temps comme raison à l'existence du champ organisationnel. Le temps ne sera pas considéré comme une catégorie neutre, extérieure à la matière, mais comme un caractère à deux faces: une face caractérisant l'immédiateté et une autre caractérisant la production et l'altération des mouvements.

177

Nous allons quant à nous proposer une approche pour appréhender le temps Comme propriété d'un système au niveau du vivant commun, en ne considérant pas le temps comme une catégorie préexistante utilisée comme une variable continue pour décrire des événements. Il s'agira de considérer le temps comme une modalité du champ organisationnel, comme une virtualité infléchissant les mouvements structurants de la matière lorsqu'elle a atteint certains niveaux d'organisation.

179

### **Les éléments proactifs**

Les éléments proactifs sont caractérisés de la manière suivante:

- ce sont des objets qui ne changent pas spontanément de forme et dont les rythmes sont calés sur ceux de la planète où ils se trouvent (phases jour/nuit, cycles lunaires ou annuels, rythmes biologiques),
- ce sont des objets qui agissent selon des rôles définis et permis par leur propre structure, et qui agissent pour leur compte,
- ce sont des objets qui sont systématiquement conduits à créer entre eux de l'organisation, en s'agrégeant de manière complexe,
- ce sont des objets qui passent, qui ne sont tels ils sont que pendant une certaine durée assez courte: ils sont en fait en transformation continue de leur naissance à leur mort.

La notion de durée sera introduite, pour les objets proactifs, par le fait qu'ils ne sont pas immuables dans l'étendue et aussi par le fait qu'ils sont proactifs :

- ces objets ont systématiquement à faire sans cesse des choix d'action,
- ils finissent systématiquement par disparaître en tant qu'objets distingués, car ils sont faits de processus qui se transforment et ce jusqu'à leur effondrement inéluctable.

181

### **les racines du temps**

Le champ organisationnel engendre deux notions de temps:

- un temps immédiat qui est un quantum pour tout objet qu'il soit structuré ou non, et qui permet sa mise en existence comme entité singulière dans un environnement,
  - un temps de situation caractérisant l'organisé, qui donne à toute structure qui a été générée le moyen de se reproduire au niveau de sa classe.
- Le temps est fondé par ces deux aspects de l'organisation des choses impulsée par le champ organisationnel.

188

### **3.3. Bilan**

La connaissance des objets complexes est, par cette investigation des champs Organisationnels connaissable et bien approximable. Cela permet de les approcher selon leur raison à exister, à partir de la matière proactive. Cela permet de les représenter par des systèmes adaptatifs et d'étudier à la fois la conception et le fonctionnement de ces derniers. Le fondement de l'existence des objets complexes est offerte par le temps, qui permet de mémoriser structurellement le passé. La notion d'objet organisationnellement complexe est une façon d'être de la matière qui lui donne un sens.

## CHAPITRE 4 Complexité profonde et calculabilité de la complexité profonde Aristote

Les derniers des anciens, eux aussi, se donnaient beaucoup de mal pour éviter de faire coïncider en une même chose l'un et le multiple.

### Autre forme de complexité

Il y a donc encore une autre forme de complexité. Certains objets, déjà organisationnellement complexes de par leur structure, sont capables de plus de générer des représentations de la situation courante qui est la leur. Ils ont, lorsqu'ils prennent place dans le vivant, des cerveaux et ils s'en servent pour élaborer intentionnellement et systématiquement des représentations et des plans. Leur observation, alors, n'est plus strictement objective au sens où elle ne peut plus être répétée à l'identique autant de fois qu'on le veut. L'objet peut jouer un rôle, feindre, tricher...

### Processus de couplage fort

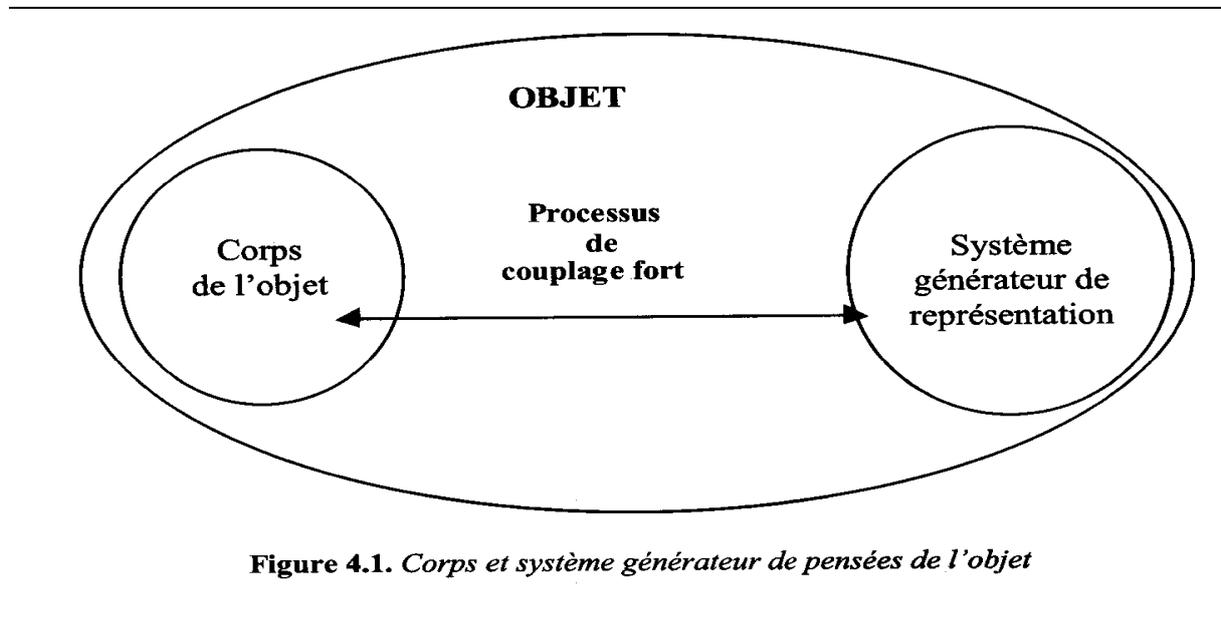


Figure 4.1. Corps et système générateur de pensées de l'objet

198

**exemple**

Considérons d'autre part, un mammifère, capable de générer des représentations Internes et observé par un premier observateur humain. L'observateur peut décrire et écrire ce qu'il voit du mammifère en usant de formules, d'équations, en utilisant le langage des mathématiques. Il peut raisonner sur ces équations en inférant, en déduisant, en en produisant formellement d'autres. Il peut laisser ce texte mathématique commentant l'observation sur une table. Ce texte peut ensuite être pris et lu par un second observateur. Ce second observateur, qui ne voit ni l'organisme ni le premier observateur, prend connaissance d'un texte scientifique. Il analyse la connaissance contenue dans le texte et comprend qu'il s'agit d'équations écrites par un confrère, qui lui est a priori inconnu mais dont il comprend ce qu'il a écrit. Il ne ressent rien pour celui qui a écrit le texte, qu'il ne connaît ni ne perçoit, et rien non plus de particulier au sujet de l'objet observé, qui est décrit par les systèmes d'équations. Il comprend simplement les équations écrites et sait de quoi il s'agit factuellement. Il s'agit de la prise de connaissance d'une représentation précise symbolisée à propos de faits précis. Ceci est le cadre de la transmission scientifique normale. Mais il ne sait pas précisément ce qu'a ressenti et exprimé le mammifère en étant observé.

204

**La question la plus profonde à propos des objets profondément complexes**

A propos d'un tel objet, la question la plus profonde peut se formuler de la manière suivante: comment et pourquoi cet objet est tel il est ici et maintenant, de cette manière et sous cette forme qui lui donne son apparence, et comment et pourquoi apprécie-t-il et conçoit-il, en propre, la situation qui le fait être générateur de sens, intentionnellement, selon ses aptitudes?

**exemple le cerveau**

Prenons le cas du cerveau de l'homme pour illustrer l'impossibilité de déterminer ce que celui-ci génère comme pensée si l'on se contente de l'observer physiquement à partir du niveau le plus fin. Et si tel était la seule possibilité d'investigation, la pensée nous serait à jamais inconnaissable. Le cerveau est constitué, en gros, de cent milliards de neurones. Chaque neurone est prolongé d'un axone et d'une dendrite, et se termine par des synapses qui peuvent le lier à dix mille autres neurones via des messagers chimiques spécifiques établissant des connexions sélectives. Ces synapses permettent le transfert des signaux au niveau moléculaire et réalisent ainsi l'activité neuronale globale. Comment mesurer la complexité combinatoire de ce formidable réseau fait de cellules actives et connectées? Il s'agit clairement d'un graphe de 10 puissance 11 noeuds, soit le nombre de neurones, chaque noeud étant connecté à 10 puissance 4 autres, ce que réalisent les liens synaptiques. Mais on peut comprendre ce graphe comme un ensemble dynamique de connexions: il s'agit alors d'un graphe à 10 puissance 15 arcs, chaque noeud représentant une possibilité de connexion et chaque arc représentant une mise en synchronisation par la connexion. Le flux informationnel revient à la circulation de l'activité le long de certains de ces arcs, d'une certaine façon, dans un certain ordre et pendant une certaine durée. La pensée est très précisément là, avec la considération d'un substrat où le nombre d'entités est déjà supérieur au nombre d'étoiles et de planètes de la galaxie!

208

### **forme physique de la pensée**

L'aspect matériel exprimant une pensée, la représentation interne, est le mouvement d'un certain système très architecturé composé d'entités proactives, mouvement qui construit une scène dont les constituants valent pour sa signification. Ce construit est capable à la fois de s'auto-observer et de contraindre la génération de ses réorganisations vers des formes typiques. La pensée est donc une réelle forme interne au sens géométrique du terme, un mouvement incarné qui se développe sur un substrat d'entités proactives physiques.

227

### **l'approche calculable - réduction symbolique**

La représentation calculable d'une telle complexité va nécessiter une utilisation très fine de la réduction symbolique. Il sera nécessaire de substituer à cette complexité considérable de la réorganisation matérielle parallèle une très subtile réorganisation calculable, qui se jouera de l'immédiateté en déterminant seulement certains possibles, sous certaines conditions et dans certains cas. Il s'agira de substituer aux cheminements infiniment compliqués des molécules fondant le mouvement synchrone des systèmes profondément complexes les trajectoires intentionnellement calculées de systèmes symboliques concurrents. Il ne s'agit pas d'évacuer la complexité, mais de la faire se produire dans le cadre contraint du symbolique effectivement calculable. Evidemment, l'ordinateur quantique serait ici d'un grand secours, s'il devenait un jour opérationnel...

244 245

### **architecture type entités de base**

Puisqu'il y a deux organisations en co-activation et en co-observation, il y aura trois sortes d'entités de base, aux rôles radicalement différents:

- les entités dites aspectuelles: ce sont les grains aspectuels qui génèrent, par leurs activations, agrégations, oppositions, évolution... les multiples aspects minimaux significatifs d'une forme de pensée artificielle courante, qui produisent les traits caractéristiques de la scène courante,
- les entités dites morphologiques: ce sont des entités structurellement plus simples que les précédentes qui décrivent l'effet, la conformation, les caractères géométriques de l'organisation des entités aspectuelles, en utilisant tous les caractères des mouvements de ces entités dans un espace morphologique. Ces entités ont et forment une mémoire morphologique,
- les entités dites d'analyse: il s'agit d'une organisation qui au vu des informations données par certaines parties de l'organisation morphologique va prendre des décisions organisationnelles au sujet des mouvements de l'organisation aspectuelle. Plus précisément, ces entités susciteront des altérations dans les entités aspectuelles pour que la forme de cette organisation soit conforme à certains états globaux admissibles appréciés géométriquement.

252

### **L'étude de la complexité organisationnelle**

Supposons que nous disposions d'un tel système auto-adaptatif générateur de pensées artificielles. Ce système est aujourd'hui conçu avec une certaine précision, mais il reste à le construire effectivement, ce qui sera une tâche longue, délicate, demandant des prouesses techniques. Mais c'est une tâche finalement réalisable. Que nous apportera cette construction? Un tel système nous apportera principalement deux choses:

- la preuve que la génération intentionnelle de représentations à propos des choses du monde est un processus calculable, très particulier car systématiquement évolutif et non déterministe, mais que c'est un processus connaissable selon une voie calculable,
- le moyen de connaître effectivement les objets profondément complexes, en disposant de systèmes auto-adaptatifs médiateurs entre eux et les observateurs humains.

## **CHAPITRE 5 Modélisation d'un phénomène organisationnellement complexe Conception des systèmes**

Nous allons préciser une nouvelle voie de conception des systèmes correspondant à des phénomènes organisationnellement complexes et profondément complexes, utilisant le paradigme multiagent. Remarquons qu'une conception à propos d'un système informatique précise le « comment faire » et que c'est l'étape de programmation qui réalisera effectivement le système, en développant les modules de codes spécifiés lors de la conception. Ainsi peut-on (et même doit-on !) concevoir d'abord un système pour le programmer ensuite. La réalisation effective, sous le paradigme agent, sera fondée sur des processus générateurs de processus, sur du code générateur de code. Nous allons montrer que les notions d'entités actives, de caractères structurels, de catégories et de champ organisationnel se représentent particulièrement bien à l'aide d'une architecture basée sur des agents logiciels, architecture qui sera appelée un « système multiagent massif », car contenant un très grand nombre d'agents.

256

### **construire un système informatique**

#### **5.1. Ontologies des connaissances à propos du phénomène étudié**

En informatique, pour construire un système, on part habituellement d'un problème bien posé décrit dans des termes calculables et le fonctionnement du système construit exhibera la solution. La démarche classique de construction d'un système est aujourd'hui bien établie et se décompose en cinq étapes, se conformant aux procédures du génie logiciel en approche objet [Booch G., Analyse et Conception orientées objet, Addison Wesley, 1994] :

- 1. écriture du problème (définition des besoins),
- 2. analyse et conception du système (conception des objets et modèle dynamique),
- 3. codage du système (réalisation),
- 4. test de fonctionnement du système (validation),
- 5. livraison du système et mise en exploitation

257

### **agent et système multiagent**

Il y a aujourd'hui en Informatique deux grandes façons de voir les agents. La façon dite « faible » considère l'agent comme une entité logicielle ou matérielle légère qui a essentiellement les trois propriétés suivantes :

- 1. autonomie,
- 2. aptitudes sociales,
- 3. réactivité et proactivité: l'agent est capable de se définir des buts et de prendre des initiatives sans concertation avec les autres agents.

L'autonomie revient à considérer l'agent comme un processus, en général un processus léger [Cardon A. & Dabancourt C., Introduction à l'algorithmique objet, Eyrolles 2001], c'est-à-dire comme une entité capable de gérer lui-même l'exécution d'un ensemble d'instructions dans un contexte précis. L'existence d'aptitudes sociales est minimale et revient à introduire dans le comportement de l'agent la notion de comportement associatif, par participation à un plan plus global géré par un groupe d'agents. Cette notion entraîne donc la constitution de groupes d'agents pour réaliser des buts communs négociés.

259

**substrat**  
**exemple**

**Objets du substrat**

Un objet du substrat est une entité permanente et minimale de la description du phénomène, sans capacité d'évolution ni d'autonomie comportementale.

Par exemple, un gaz simple est et n'est constitué que d'objets du substrat. Les objets sont dans ce cas des particules considérées comme ponctuelles et qui sont soumises à des chocs aléatoires de type boule de billard. Dans les écosystèmes marins, les objets du substrat sont ceux d'échelle trophique 1, c'est-à-dire le plancton, les masses liquides et la topographie des fonds.

261

**connaissances aspectuelles**  
**exemple**

On appellera connaissance aspectuelle à propos du phénomène, une connaissance relative à un aspect d'un certain élément structurant ayant trait à son état et à son changement d'état. C'est un point de vue sur la connaissance dynamique d'un élément structurant proactif tendant à organiser le phénomène.

Une connaissance aspectuelle est un certain point de vue de modélisation sur des concepts évolutifs référant au phénomène, sur les propriétés d'un ensemble d'éléments structurants ou d'objets substrats, ou bien encore sur la relation entre certains éléments structurants. Cette connaissance est essentiellement dynamique. C'est la définition de la mise en oeuvre effective du mouvement d'un élément structurant.

Par exemple, dans un écosystème, on peut s'intéresser essentiellement aux Mouvements des organismes vivants dans leur espace, avec les effets d'interactions et sans se préoccuper du tout de leurs émotions, ou réciproquement, on peut fonder leurs éventuels mouvements à partir de leur seul état émotionnel sans se préoccuper de leur structuration sociale. Il s'agit, dans les deux cas, de deux aspects, de deux points de vue sur le concept de comportement des individus d'un écosystème. Ces deux points de vue pourront être associés dans le même système adaptatif.

Une connaissance aspectuelle est représentée par un identifiant et par un certain nombre de caractères qualitatifs et de processus opératoires permettant sa mise en oeuvre. Les caractères sont à la fois la précision de la connaissance et sa mise en application.

263

**5.1.4. Caractères de la granularité d'un système adaptatif**

Il nous faut quand même aborder une question de conception: quel est le choix de la bonne échelle qui est à retenir en ce qui concerne les éléments de connaissance d'un phénomène?

Nous allons préciser ce que l'on entend par complexité de granularité, à propos d'un système. Il s'agit d'une notion portant sur le système et non plus sur le phénomène. Il s'agira donc d'une notion pouvant se formaliser de manière précise. On pourra définir deux caractères fondamentaux du système adaptatif à construire, au regard des seules connaissances qui le caractérisent: la complexité et la granularité. Ces deux caractères fonderont complètement la notion de système adaptatif; qui est au centre de nos préoccupations.

### **Complexité de réalisation d'un système adaptatif**

On dira que le système modélisant un phénomène difficile à appréhender est complexe si ses concepts explicatifs ne peuvent être définis qu'en prenant en compte des connaissances relationnelles et organisationnelles et que ces connaissances sont systématiquement évolutives et ne peuvent être toutes fixées lors de l'étape de spécification initiale du système.

293

### **exemple**

Un tel système est actuellement développé dans le cadre de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), avec des applications sur les propagations des maladies tropicales (Mbatchou G., Fosto L.P., Gouteux J.P., Cardon A., Massive Multi-agent Systems: Model for the Tsetse Flies Distributions in a Heterogeneous Environment, AISTA 2004, Luxembourg 2004).

## CONCLUSION

### En cette année 2004....

Une centaine d'espèces vivantes sont éradiquées chaque jour,

25000 hectares de forêts disparaissent chaque jour,

25000 personnes meurent chaque jour de maladies  
causées par la simple pollution de l'eau,

47% de la population mondiale  
vit avec moins de 3 Euros par jour,

Le réchauffement climatique causé par les gaz à effet de serre  
est devenu indéniable et entraîne aridité et désertification  
de certaines zones tempérées,  
génère des inondations dans certaines autres,  
des tempêtes, des ouragans,  
le commencement de la fonte des glaces polaires,  
la montée du niveau des mers.

La pêche industrielle intensive met en péril  
la biodiversité des océans et des espèces marine:  
80% des grands poissons ont déjà disparu des mers, définitivement,

Les cultures intensives ruinent les sols  
que les pluies acides stérilisent,

L'élevage industriel engendre des pollutions non résorbables.

Il y a 900 000 000 d'hommes et de femmes adultes analphabètes  
qui donc ne lisent rien et ne connaissent rien  
d'une vision scientifique du monde qui pourrait  
les délivrer de la terreur et de l'obscurantisme

Dans moins de 100 ans, à ce rythme,  
sur une planète ravagée où il n'y aura sans doute plus  
que quelques humains, du béton inutile, du sable et la latérite,  
la civilisation se sera effondrée.

*Pourtant il faut écrire, encore,  
des livres sur l'essence de la vie,  
sur l'essence du vivant.*

300

### **machine pensante**

Mais une machine pensante, le système auto-adaptatif générateur d'émotions, de sensations et de pensées artificielles, ce système profondément complexe si fin ne sera peut-être pas construit, l'homme n'ira peut-être pas jusque-là. Très étrange concordance, où il atteint à cette compréhension qui le touche au plus près: la compréhension constructive de ce qu'est sa pensée, et où il échoue, s'effondre, juste avant, dominé par les incohérences de ses propres organisations. Peut-on penser une loi qui ferait qu'on ne transgresse pas l'équilibre du vivant jamais et que les effondrements compensent systématiquement les avancées? Non, sans doute pas. Il y a simplement, comme dans tout ce que nous avons montré au sujet de la science, de la philosophie, de l'architecture des systèmes organisationnellement complexes, de l'homme, il y a toujours dualité. Il y a la férocité de l'espèce humaine et il y a la magnifique capacité de création de l'homme qui fait aussi des choses merveilleuses. Et puis il y a quand même la distinction entre la science pour la découverte, pour la pensée éclairée dans le temps de la civilisation, et la techno science, essentiellement rentable et systématiquement dominatrice, pour la vie dans l'instant, et pour le pouvoir.

301

### **science et philosophie**

Il s'agit bien de systèmes et de caractères intrinsèques de ces systèmes artificiels, et une façon élégante de répondre à cette question sera de découvrir les lois, dans le domaine du calculable, qui permettent à des organismes artificiels dotés de certaines capacités d'autonomie, de s'agréger, d'évoluer, d'être enfin, pour constituer un système global hypercomplexe. Il s'agira de découvrir les lois des champs organisationnels et de relever le défi de la réelle compréhension du temps: comment le temps impose-t-il sa marque dans l'organisation des choses, dans le présent, en s'appuyant sur le passé qui l'a fui à jamais et sur le futur qui l'absorbe à chaque instant. Cela doit, et ce n'est vraiment pas rien, réconcilier la science et la philosophie, cela doit rétablir le lien naturel ouvrant au questionnement le plus large et que la techno science ne cesse de rompre.

## **REFERENCES**

### **Auteurs**

Alain CARDON  
Jean-Pierre CHANGEUX  
Jean-Paul DELAHAYE  
Jean-Louis LEMOIGNE

### **Mots Clés**

Artificial Brain  
Space Vehicles  
Chien AIBO  
Chat NECORO

### **Recherches**

LERIA/EPITECH  
Université libre de Bruxelles (programme européen LEURRE)  
ROBOCUP