

Représentation, information et culture

Jean Guy Meunier

publié in : F.Rastier, (ed) Sciences Cognitives et Culture PUF 2003 .

Résumé :

Une analyse serrée des thèses naturalistes contemporaines sur la conscience et la culture montre qu'elles sont profondément influencées par les modèles des systèmes de traitement de l'information. Or, ceux-ci en appellent explicitement ou implicitement à un concept qu'on voulait éliminer du discours naturaliste, à savoir celui de représentation. Nous étudions la structure conceptuelle des arguments qui voient la culture comme le résultat d'un système de traitement de l'information, en l'occurrence d'un système social.

Introduction

Pour comprendre le comportement humain, Descartes en avait appelé à la métaphore de la soufflerie. Inspiré de Vésale et Harvey, il voyait le cœur comme une pompe; le poumon était un soufflet, les veines et artères en étaient les canaux de circulation. Comme on l'a souligné souvent, c'était une des premières théories de l'animal machine. Aujourd'hui, c'est la câblerie électronique ou neuronale qui construit la métaphore de l'homme. En effet, les projets de naturalisation de la conscience humaine abondent. Ils nous proposent une compréhension causale de ces phénomènes complexes que sont la perception, le désir, la conscience, etc. Ils refusent l'explication sémiotique, phénoménologique, herméneutique de ces phénomènes. On préfère une lecture soit fonctionnaliste à la Fodor, soit réductionniste à la Churchland ou Changeux. Certains, comme Dennett, tentent un compromis entre un respect du sens, de l'intentionnalité et de la causalité.

Dans le domaine de la culture, on voit depuis quelques années émerger un même type de projet naturaliste. On cherche en effet à comprendre le comportement social des humains en termes de causalité. Cette fois, cependant, la métaphore de la *machine* a disparu. Elle a été remplacée par celle de *l'organisme*. Elle n'est plus hydraulique ou neuronale, mais biologique. Plusieurs penseurs (Popper 1963 ; Harris 1968 ; Wilson 1975) croient que la culture n'est qu'un niveau de plus dans la complexification du biologique, plus particulièrement de son processus adaptatif à l'environnement. Ici encore, on abandonne le discours interprétatif, sémiotique, etc. que l'on voit comme banal ou carrément faux (Boyer 1994). C'est ainsi que Sperber (1996) parlera d'*épidémie des représentations*. Dawkins (1982), Durham (1991) Maturana et Varela (1986) verront les sociétés comme des organismes vivants transmettant des unités culturelles analogues à des gènes par exemple, des "mêmes". Elles seront autopoétiques. Barkow, Cosmides et Tooby (1992) les comprendront comme des organismes adaptatifs réagissant à des stimulus locaux. Minsky (1986), Boyer (1994) ou Atran (1990) liront les phénomènes culturels comme des contraintes sélectives, des paramètres ou des attracteurs sur les variations de comportements sociaux. Ainsi, la problématique de la culture prendra une tournure sociobiologique et la société sera conçue comme un vaste organisme, dynamique, autopoétique, et adaptatif.

Bref, tant la conscience que la culture apparaissent, dans ces projets naturalistes, comme des "épiphénomènes" de complexification de structures naturelles de base. Dans les deux cas, on espère souvent qu'un enrichissement (*scaling up*) du modèle des constituants de base permettrait de mieux comprendre les phénomènes plus complexes comme ceux de la conscience et de la culture. Dans le premier cas, il suffirait de construire des modèles neuronaux plus solides pour obtenir une théorie de la conscience. Dans le deuxième cas, il s'agirait de modéliser les interactions des unités de base pour obtenir cette fois une théorie de la culture.

Évidemment, on ne peut s'empêcher de saisir le parallélisme des problématiques de la conscience et de la culture. Il est d'ailleurs intéressant de constater que ces deux questions sont depuis les derniers siècles intimement liées. Comme le dirait peut-être Sperber : il y a habituellement "contagion" entre les deux. Une théorie de la conscience "infecte" presque inévitablement une théorie de la culture et vice versa. Geertz (1973 : 352) formulait une idée similaire en disant : "l'anthropologie n'est qu'en apparence l'étude des coutumes, croyances ou institutions. En réalité, c'est l'étude de la pensée".

Au-delà de la spécificité des questions de la conscience et de la culture, il existe une profonde similarité entre les deux problématiques. En effet, elles partagent une même architecture théorique. Ainsi, par exemple, on postulera que la conscience et la culture opèrent avec certains objets non physiques (symboles, signes, information, mêmes, etc.) et que leurs interactions, transformations et transmissions sont contraintes par des paramètres (règles, écarts, automates déterministes, etc.). En fait, ces projets de naturalisation de la conscience et de la culture s'inspirent souvent d'un même univers de modèles¹, mais qui ne sont pas toujours apparents dans le discours. Ils opèrent presque tous dans des variantes plus ou moins transparentes de la théorie des *systèmes complexes de traitement de l'information* (STI). Autrement dit, malgré une différence de vocabulaire de surface, ces nombreuses théories naturalistes de la culture présentent une architecture conceptuelle partagée et qui est implicitement celle des conceptualisations techniques et souvent formelles de l'information. Notre réflexion veut explorer cette hypothèse. Les phénomènes de culture sont-ils des systèmes complexes de traitement d'information?

Une telle question nous apparaît pertinente aujourd'hui, car elle est au cœur de débats importants. Cependant, comme nous verrons, la réponse à cette question n'est pas simple. Elle présuppose que l'on comprenne la nature de l'information et surtout des systèmes complexes de traitement de l'information, ce qui n'est pas acquis. Car, comme nous le verrons, dans les modèles de ces systèmes, tous les concepts ne sont pas aussi "empiriques" qu'on le croit.

Aussi, dans le but d'éclairer davantage le débat sur ces questions, nous explorerons dans cette recherche :

- a) l'intime relation historique qui existe entre les concepts d'information et de représentation;
- b) l'utilisation implicite du concept de représentation dans la majorité des modèles de traitement de l'information;
- c) les variantes des architectures de traitement de l'information et
- d) l'application de ces architectures à la question de la culture.

Ceci nous amènera, nous l'espérons, à mieux comprendre la pertinence ou la non-pertinence des concepts d'information et de représentation dans les théories de la conscience et de la culture.

1- Le concept d'information

Qu'est-ce que l'information? De quel sorte d'objet parle-t-on? Certes, on connaît la réponse classique de Shannon à cette question. Il rendait équivalent information et probabilité d'occurrence. Mais cette équivalence n'est pas une définition de l'information. Elle est plutôt une mesure de la probabilité de son apparition. Et, comme l'ont montré Bar-Hillel (1964), Nauta (1972), McKay (1952), Dretske (1982) et Fluckiger (1995), une telle définition laisse complètement indéterminée la nature même de l'information et tout le problème sémantique qui la traverse. Depuis quelques années cependant, diverses théories issues des sciences cognitives ont proposé de lier l'information à la représentation. Evidemment, cette liaison représentation-information a été comprise de différentes manières.

Un premier groupe de modèles, issus des sciences cognitives dites "fortes", affirme explicitement que la véritable nature de l'information est "représentationnelle", c'est-à-dire *symbolique*.

" Nous avons affaire à des machines qui traitent de l'information. Dans notre terminologie, ceci signifie que le mode de fonctionnement de ces machines consiste à utiliser des symboles qui tiennent lieu des choses qu'ils représentent. " (Marr 1982 : 21).

Cette hypothèse, dite symbolique, est celle qui domine sous une forme ou une autre les multiples modèles classiques dits cognitifs de traitement de l'information, tels, par exemple, la cybernétique (Turing 1937 ; Ashby 1956; Von Neumann 1958 ; Pylyshyn 1984, etc.), l'intelligence artificielle (Newell et Simon 1976), la philosophie logico-analytique (Fodor 1975 ; Haugeland 1986), la psychologie cognitive (Johnson-Laird 1988) la linguistique (Jakendoff 1988 ; Pinker 1998), etc.

On retrouve aussi cette hypothèse "représentationnelle", mais sous une variante originale, dans un deuxième groupe de modèles dits *phénoménologiques* des technologies de l'information. Ici, on ne voit plus ces systèmes de traitement d'informations comme des systèmes autonomes, mais plutôt comme des "*TECHNAI*", c'est-à-dire des technologies, des outils (Stiegler 1995) ou des "*artefactures*" (Bachimont 1997) intégrés à l'activité humaine interprétative. Dans ce type de modèles, ce sont les agents interprètes qui dominent la scène. Ce sont eux qui sont à l'origine de l'information et qui utilisent les technologies comme extension de leur propre structure représentationnelle.

" Une machine n'a pas de sens. Elle ne peut donner lieu à de vrais signaux d'information pour une autre machine ; il faut un vivant comme médiateur pour interpréter un fonctionnement en termes d'information. " (Simondon 1969 : 137).

Ainsi, dans ces modèles, l'information n'est plus un objet externe, empirique, pouvant exister hors des agents interprètes. Elle devient ce qui leur est présent immédiatement. En ce sens, l'information est encore "représentation", mais, à la différence du premier groupe de modèles, elle n'est plus symbole mais présence insistante, idiosyncrasique et phénoménologique.

Une troisième groupe de modèle est issu des approches dynamiques tels, par exemple, le connexionnisme, (Rumelhart et Mc Lelland 1987 ; Smolensky 1988 ; etc.), les algorithmes génétiques (Holland 1975), etc. Ce groupe de modèles refuse explicitement l'approche cognitive classique. Mais malgré ce refus officiel, il n'en appelle pas moins, lui aussi, au concept de représentation. Par exemple, un réseau de neurones manipule toujours de la représentation. Celle-ci n'est plus "locale", mais "distribuée". Plus radicalement encore, elle n'est plus symbolique mais sous-symbolique. Dans cette perspective, l'information demeure toujours une représentation.

Récemment, certains auteurs (Winograd et Flores 1986 ; Moravec 1988 ; Varela 1988 ; Chalmers 1991 ; Van Gelder 1995 ; Thelen et Smith 1994 ; Petitot 1985 ; Scott-Kelso 1995 ; Globus 1992 ; Brooks 1997 ; Franklin 1995 ; etc.) critiquèrent ce modèle représentationnel. Ils le jugent totalement inadéquat pour la compréhension des systèmes complexes du traitement de l'information. Leur argument principal est que le concept de "représentation" est non pertinent pour l'explication et la compréhension des STI, surtout ceux de type "intelligent" :

" It is the concept of representation which is insufficiently sophisticated. " (Van Gelder 1997 : 6).

" Representation is the wrong unit of abstraction in building the bulkiest parts of intelligent systems. " (Brooks, R. A. 1997: 396).

" We are not building representations at all! " (Thelen et Smith 1994 : 338).

Un débat est donc né. Les STI sont-ils ou non représentationnels?

2- Représentation et information

Qu'en est-il vraiment de la relation entre l'information et la représentation? Les théories contemporaines semblent préférer le premier concept au second, voyant là une différence théorique importante. Mais est-ce le cas?

Sur le plan historique, il faut se rappeler que ces deux concepts ont toujours été profondément liés. Le concept de représentation est à l'œuvre dans presque toute la littérature philosophique, depuis Aristote à aujourd'hui. Ce n'est cependant vraiment que depuis le Moyen Âge qu'il est spécifiquement lié à celui d'information. En effet, la tradition aristotélicienne médiévale soutenait que lorsque l' " *anima* " entrait en contact cognitif avec un objet extérieur, elle n'absorbait pas les objets du monde comme dans un contact purement physique (par exemple : la digestion). Autrement dit, elle transforme un objet physique externe en un objet interne appelé " *forma* ". De ce fait, dans l' " *anima* ", l'objet est alors *présent à nouveau* – " *re-présente* " –, mais sous une autre forme. L'*anima* est alors dite – " *in actu* " – " *informata* ". Elle *re-présente* l'objet, c'est-à-dire crée une " *re-presentatio* ", mais sous une autre forme¹. Autrement dit, dans ce modèle, l'âme ne peut traiter l'objet externe en soi, elle ne peut qu'en être informée, c'est-à-dire qu'elle possède une forme nouvelle de présence de cet objet externe. C'est pourquoi elle n'opère qu'avec une " représentation ", c'est-à-dire une " *informatio* ". Parlant de la connaissance sensible, Poinso (Jean de St Thomas) dit par exemple:

" [...] est uius representatio et exercitium significandi informando fit. " (Poinso : I, q 1, 655a, 47).

Bref, dans leurs sens médiévaux, l' " *informatio* " et la " *representatio* " se croisent et partagent des propriétés communes. Ils tentent tous deux de nommer le mode original de présence d'un objet externe dans l'agent.

Ce thème de l'interdépendance sémantique de la " *representatio* " et de l' " *informatio* " sera repris régulièrement sous différentes formes. Pensons ici au " *esse est percipi* " de Berkeley², à l'intentionnalité de Brentano (1874) ou au " *noema* " de Husserl, (1948), à l' " *Umwelt* " de Von Uexküll (1940). Cependant, faut-il le rappeler ici, dans ces modèles, la " *re-présentation* " n'est pas nécessairement et en soi identique à une forme symbolique³. Ce n'est en effet qu'avec Descartes que la représentation prendra cette tournure plus " symbolique ". Pour Descartes, les représentations seront pour une grande part, associées aux " idées " et donc éventuellement exprimables par des symboles.

Une architecture conceptuelle commune

Il ne faut pas se surprendre que notre compréhension contemporaine du concept d' *information* soit liée à celui de *représentation*. Ce sont là deux concepts qui, depuis des siècles, s'appellent l'un l'autre. Et aujourd'hui, malgré une différence de terminologie, nous pensons que tous les modèles de STI, qu'ils soient statiques ou dynamiques, symboliques ou non, reposent sur une architecture conceptuelle qui est essentiellement représentationnelle au sens le plus classique de ce terme. Et si ces systèmes présentent une véritable différence, ce ne sera pas sur ce concept qu'elle sera fondée, mais plutôt sur l'architecture profonde de la dynamique de ces représentations. À notre avis, comme nous l'avons démontré ailleurs (Meunier, 2001) ce qui lie profondément une théorie de l'information avec une théorie de la représentation repose sur leur engagement mutuel envers trois thèses communes : une première de type sémiotique, une seconde, épistémique et une troisième de nature ontologique.

La première, dite *sémiotique*, soutient que toute information repose sur une relation de substitution entre deux entités : l'une externe au système, l'autre interne. Autrement dit, tout STI postule qu'il est capable de rendre présent à nouveau (re-présenter) dans le système ce qui lui est externe. L'information, en ce sens, nomme la " *re-présence* " dans le système de l'objet qui lui est externe. Et ce que manipulera un STI n'est pas l'objet externe, mais ce qui le remplace dans le système, c'est-à-dire, en termes contemporains, la " *trace* " que l'objet, l'environnement inscrivent dans l'agent. Cette thèse ajoutera que cette " *substitution* " ne peut avoir que deux origines : soit conventionnelle, soit causale. Dans le premier cas, dans le vocabulaire classique de la sémiotique, la relation sera dite " *non naturelle* " et elle sera appelée symbolique. Dans le second cas, elle sera dite " *naturelle* " ⁴ et elle créera des signes indiciels ou causaux.

La deuxième thèse est de nature *logique*. Elle postule que tout STI effectue des opérations et des transformations qui sont de nature spécifique. Celles-ci sont sémantiquement sensibles c'est-à-dire qu'elles tiennent compte de à ce à quoi elles sont substituées où de ce qui les causent. Ainsi cette thèse soutient que les transformations effectuées sur des informations relèvent avant tout de la nature du système sémantique qui les traite. Pour certains (Fodor 1975 ; Johnson-Laird 1988 ; Pylyshyn 1984), ces transformations sont normalement compositionnelles et inférentielles (c'est-à-dire logico-symboliques) ou agrégatives (c'est-à-dire associatives). C'est ce qui assure leur systématisme.

Enfin, la troisième thèse, dite ontologique, confère à ses objets internes un certain statut d'existence particulier. Pour les uns, les représentations sont essentiellement des entités de nature sémantique, pour les autres elles sont de nature physique ⁵.

Bref, toute théorie de l'information est souvent, sur le plan conceptuel, isomorphe à une théorie de la représentation, car toutes deux impliquent un engagement sur un principe de signification, un principe de transformation structuré et un principe d'existence.

Bien souvent cependant, ces trois thèses passent inaperçues et sont enchevêtrées l'une dans l'autre. Par exemple, elles sont évidemment à l'œuvre dans les théories dites " *mentalistes* " ou " *représentationnelles* " de l'esprit (Fodor 1975 ; Johnson-Laird 1988 ; Pylyshyn 1984, etc.). Dans ces modèles, la relation sémiotique est cependant très spécifique. Elle est de nature symbolique. L'ontologie est faite d'états discrets ou atomiques et les transformations sont systématiques et inférentielles.

Mais ces thèses sont aussi présentes dans les modèles " *sub-symboliques* " (Smolensky 1988 ; Rumelhart et autres 1987.) La relation symbolique est ici de nature essentiellement causale : l'ontologie est " *distribuée dans les poids* " et les transformations sont aussi systématiques bien que non retraçables.

Mais il est aussi de plus en plus évident pour nous que malgré des différences de terminologie, ces trois thèses se retrouvent aussi dans les théories qui refusent explicitement le terme de représentation (Scott-Kelso 1995 ; Penrose 1995, Varela 1988 ; VanGelder 1997, Brooks 1989). Ici, le traitement de l'information, bien qu'appliqué à du continu, du non compositionnel et du non symbolique, n'en manipule pas moins quelque chose qui est intérieur au système et qui est la trace, l'effet de ce qui lui est extérieur, c'est-à-dire une " *re-présentation* ". Bien que cette représentation ne soit pas symbolique, discrète et compositionnelle. Faut-il rappeler ici que traditionnellement dans la littérature sémiotique, le symbole n'est qu'une forme de représentation parmi d'autres ?

Ainsi le concept d' *information* est-il intimement lié au concept de *représentation*. Et l'usage du terme d'information ne modifie pas l'architecture conceptuelle implicite des arguments. Ces deux concepts ne sont pas meilleurs l'un que l'autre. Ils sont tout simplement très généraux. Les concepts d'information et de représentation demeurent une façon commode de parler de certains systèmes en tant que ce qu'ils traitent est relié à ce qui leur est extérieur (thèse sémiotique), que le traitement qu'ils effectuent est d'une nature particulière (thèse logique) et différente d'une pure transformation physique observable et que finalement ce traitement est réel et efficace (thèse ontologique). Ainsi, ces concepts, sauf dans des modèles spécifiques, n'impliquent pas nécessairement non plus que ce qui est l'objet de leur traitement et qui leur est interne soit symbolique, iconique ou causal, etc. Cela relèvera de la nature du traitement que l'on attribue au système et donc de l'architecture qu'on lui reconnaît.

3- L'architecture des STI.

Nous avons soutenu jusqu'à maintenant que les modèles STI postulent implicitement ou explicitement des thèses de nature représentationnelle. Maintenant, nous montrerons que malgré une plus ou moins grande granularité, c'est-à-dire un degré plus ou moins précis de "résolution" ou de détail, ces modèles proposent tous des architectures dans lesquelles, on peut distinguer au moins deux niveaux de traitement différent.

Le premier niveau : les modules de base.

Malgré des variantes dans le formalisme et leur notation, les modèles postulent tous une structure de base. Celle-ci reçoit divers noms selon les modèles. Ils peuvent être appelés modules, granules, morphes, cellules, gènes, chromosomes, agents, etc. Pour des raisons de simplicité théorique, nous choisirons celui de module. Quel que soit son support matériel, cette structure de base prend la forme d'un mini-système qui établit une correspondance fonctionnelle entre des intrants et des extrants du système. Ce que nous pouvons illustrer dans le schéma suivant :

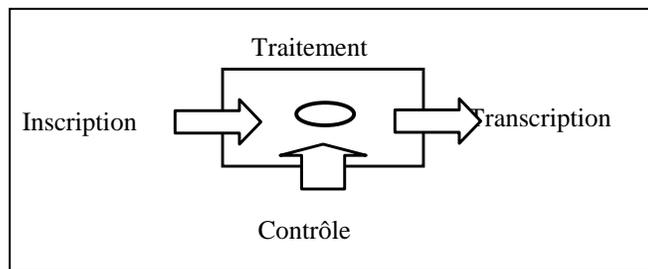


Figure 1

Ce module contient quatre instances : L'instance *d'inscription* transforme les intrants en entités pour les rendre admissibles par le système. Cette étape produit une donnée interne au système. L'instance de *traitement* applique à son tour des transformations sur les données internes. L'instance de *contrôle* définit les degrés de liberté du traitement. Finalement, l'instance de *transcription* traduit les résultats dans une forme adéquate pour un autre système.

On trouve évidemment ce schéma dans les théories classiques de traitement de l'information tels, par exemple, la cybernétique classique ou l'intelligence artificielle. Ils prennent habituellement la forme d'une machine de Turing, d'automates, de grammaire, de systèmes de production, etc. (Turing 1937 ; Ashby 1956 ; Von Neumann 1957 ; etc.)⁶. Le prototype d'un tel module dans ces modèles sera le *transducteur*.

Mais aussi surprenant que cela puisse paraître, ce type de constituant de base se retrouve aussi dans les systèmes non symboliques de type dynamique. Par exemple, dans un modèle connexionniste, chaque neurone individuel est essentiellement conçu comme un petit automate (Franklin et Garson 1989) où le neurone opère comme une fonction (souvent non linéaire) de transfert. Dans les modèles génétiques (mutation, reproduction, etc.), toutes les opérations de base sont de ce type. Enfin, dans les systèmes émergents, on postule aussi une telle structure de base. Leur différence avec les systèmes classiques est que les instances de contrôle ne prennent pas la forme de règles, mais de paramètres ou de contraintes. Ils seront souvent non linéaires, plus "flexibles", plus "morphogénétiques". Dans le fameux exemple de Skarda et Freeman (1987) le bulbe olfactif du lapin réagit chimiquement comme des transducteurs mais dont le comportement est chaotique quoique bien paramétré.

Ces modules sont souvent des systèmes autonomes, presque des micro-automates.⁷ Et ils ne doivent pas être confondus avec les "primitifs" dont parlent habituellement les modèles symboliques classiques⁸. Ils ne sont pas ici des atomes "symboliques", au sens classique du terme, c'est-à-dire des entités indécomposables et discrètes servant d'intrants à une machine de Turing.

Deuxième niveau : L'interaction des modules

Le schéma de ces modules de base se retrouve, avons-nous dit, dans tous les modèles des STI. Mais avec un tel schéma, on ne peut pas décrire un système complexe de traitement de l'information. Même le jeu informatique le plus simple ne pourrait pas être expliqué par ce celui-ci. Les systèmes concrets ne sont pas construits à partir d'un unique constituant de ce type. Il en faut une multitude. Et ce dont il faut maintenant rendre compte est la structure

des interconnexions de ces multiples modules. Or, celle-ci peut être conçue de deux manières. Une qui voit l'interaction de manière strictement compositionnelle et une autre qui la voit de manière non compositionnelle. Dans ce second type, on distinguera une non-compositionnalité hiérarchique et une non-compositionnalité associative.

Un premier groupe de modèles voit l'interaction entre les modules comme une structure systématique, c'est-à-dire de nature compositionnelle. Ce modèle ré-applique à l'interconnexion de tous les modules le concept des automates que l'on croit régir chacun des modules de base. Autrement dit, un système complexe ne serait qu'une grande machine de Turing. Cette idée traverse plusieurs modèles de STI. Par exemple, dans les théories linguistiques classiques d'inspiration générative, on voit la relation entre une phrase et ses subordonnées comme une structure compositionnelle de syntagmes dominant des syntagmes sous-jacents. Pour Fodor et Pylyshyn (1988), ce type de structure compositionnelle doit caractériser toutes les structures cognitives. De même, dans les théories informatiques, plus particulièrement celles de l'IA classique, on conçoit souvent la relation entre un programme et ses "sous-routines" comme un emboîtement compositionnel. Certains modèles neuronaux (Arbid 1999) voient aussi l'interaction entre les neurones de base et l'ensemble des autres comme une structure d'automate mais distribuée. Mais, nuancent-ils, ceci est une vision qui va au-delà des perspectives traditionnelles des sciences cognitives :

« Comprendre ceci, c'est pousser la théorie des automates – et des sciences cognitives- bien au-delà de tout ce qui est disponible aujourd'hui. Cependant, nos concepts d'automate croîtront immensément dans les décades qui suivront au fur et à mesure que nous comprendrons comment fonctionne le cerveau.(Arbid 1995, notre traduction).

Un deuxième groupe de modèles refuse cette approche compositionnelle stricte pour comprendre l'interconnexion des modules. On ne voit plus cette interrelation comme réalisant à son tour un automate. Un STI met en place, plus souvent qu'autrement, des interactions complexes sur des objets qui ne sont pas du même type et où l'interaction n'est pas nécessairement « grammaticale » c'est-à-dire formellement compositionnelle.

Et dans ce deuxième groupe de modèles, il existe deux grandes hypothèses sur la nature de cette organisation. Les deux voient un STI complexe de manière structurée, mais elles diffèrent quant à la compréhension de la structure de cette interrelation. Une première la voit de manière hiérarchique ; l'autre comme de manière associative.

Le modèle hiérarchique de la non-compositionnalité.

La première hypothèse propose un modèle où l'interaction entre les constituants est hiérarchique, c'est-à-dire que l'action d'un sous-système dépend de celle d'un autre, mais où cette dépendance n'est pas compositionnelle c'est-à-dire systématique. Ici, dans l'interaction des modules, les relations ne sont pas du même type. Les uns ont des intrants qui viennent de l'environnement, d'autres reçoivent leurs intrants des autres modules et leur servent de contrôle. D'autres, enfin, opèrent en regard de paramètres externes, de buts, de normes, etc. Autrement dit, tout le traitement n'est pas uniforme et du même niveau. Chaque niveau est positionné par rapport à un autre. Il peut dépendre ou non d'un autre niveau logiquement différent du sien. C'est en ce sens qu'il s'agit d'un système hiérarchique, bien que non compositionnel. C'est ce que nous illustrons dans le schéma suivant où, par exemple, le deuxième système S_2 reçoit ses contrôles du système S_3 et ainsi de suite.

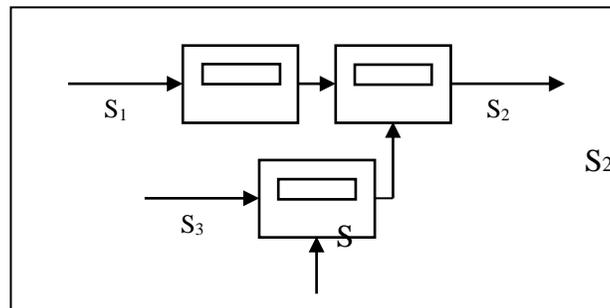


Figure 2

Dans ces architectures de systèmes complexes intelligents, on trouve souvent cette multiplicité hiérarchique de modules. Par exemple, on posera généralement un premier niveau de traitement de nature sensori-motrice pour rendre compte de la relation du système aux intrants venant de son environnement (e.g. par ses capteurs sensibles) et des actions du systèmes sur cet environnement (e.g. par ses effecteurs). Un deuxième type, dit pragmatique ou

praxiologique, assurera la manipulation des stratégies d'actions ou des buts que doivent suivre les divers modules du système. Un troisième type d'interrelation sera de type normatif. Celui-ci manipulera les paramètres auxquels doivent se conformer les divers modules du système. Un quatrième type, souvent appelé épistémique, assurera le bon fonctionnement des modules du système en regard de l'expérience acquise. Ce sera le lieu où sont déposées des " croyances ", des visions du monde, etc. Un autre type permettra au système de s'identifier comme entité spécifique dans son environnement. On pourrait l'appeler le niveau " ipséique ". Enfin, certains modèles distingueront des fonctionnalités pour l'apprentissage ou l'émergence des divers constituants eux-mêmes. Naturellement, plusieurs variantes de cette hiérarchisation existent (Braga, 1997)

Bien que plusieurs modèles cognitifs classiques représentationnalistes aient défendu l'idée de la compositionnalité généralisée pour les STI, une analyse attentive révèle qu'en fait, les interactions entre leurs modules eux-mêmes sont souvent pensées de manière non compositionnelle. Par exemple, chez Fodor, on trouve trois types de modules en interaction : les transducteurs, les processus centraux et les processus périphériques. Chacun de ces modules est un automate. Mais ces modules ne semblent pas reliés entre eux de manière compositionnelle. C'est-à-dire que bien que les intrants d'un système soient admissibles par un autre système, leur mise en relation elle-même ne relève pas d'une grammaire ou d'une machine de Turing. Des hypothèses similaires à ces modèles se retrouvent en philosophie (Cummins, 1989; Pollock, 1989), en psychologie (Johnson-Laird, 1989), en intelligence artificielle (Newell et Simon, 1976), dans des systèmes multi-agents intelligents (Bradshaw, 1997) et même dans les systèmes émotifs (Velasquez, 1996).

Ce type d'interrelations hiérarchiques mais non compositionnelles est de plus en plus privilégié par la robotique actuelle. Par exemple, les robots construits par Albus et Meystel (1996) possèdent des niveaux de percepteurs, des niveaux de planification, des normes de contrôle d'effecteurs, etc., et les interrelations de tous ces niveaux ne forment pas un méga-automate au sens strict du terme (c'est-à-dire que la composition des fonctions n'est pas une fonction calculable, sinon entre des paramètres très restreints). Les interactions sont déterminées empiriquement selon les tâches à faire et l'environnement rencontré.

Cette approche de la complexité des STI s'oppose évidemment aux modèles qui voudraient voir les STI comme des méga-machines de Turing, c'est-à-dire comme l'amplification d'un seul type de traitement d'information, plus spécifiquement encore, celui de type perceptif, c'est-à-dire celui qui relie un système à son environnement.

Le modèle associatif

La deuxième hypothèse de non-compositionnalité voit l'interaction entre les modules de manière associative : les interconnexions y sont non hiérarchiques. C'est ainsi, par exemple, que les modèles connexionnistes sont des systèmes complexes, mais qui sont tous aussi constitués de neurones de base en interaction. Mais leur interaction est dite associative. Un réseau de neurones n'est pas un super-neurone mais un réseau associatif de tels neurones. Il en va de même pour les modèles génétiques, dynamiques, quantiques etc. Les modèles proposeront évidemment divers types de compréhension de cette association. Pour les uns l'interaction sera de nature différentielle (Grossberg, 1988); pour d'autres, elle sera topologique (Maturana et Varela, 1980), morpho-génétique (Thom, 1975), probabiliste (Brooks, 1989), dynamique (Van Gelder, 1997) et même quantique (Penrose, 1994).

Cette architecture associative présente des similarités avec l'architecture hiérarchique. Premièrement, les deux postulent l'existence de modules de base (neurones, gènes etc.) qui sont souvent des mini-automates et qui peuvent être des myriades. Deuxièmement, ils sont " multi-types " (ils peuvent effectuer divers traitements et ne s'appliquent pas toujours au même type d'objet). Par exemple, certains cibleront avant tout les intrants du système, alors que d'autres travailleront comme des paramètres, des seuils, de la pondération, des valeurs intermédiaires, etc. Bref, ils fournissent des fonctions de contrôle pour les autres sous-systèmes.

Enfin, la différence entre les systèmes hiérarchiques et les systèmes associatifs repose sur la modélisation de leurs interactions. Mais pour comprendre davantage cette interaction, de la recherche théorique est nécessaire. Pour certains, la structure est vue comme catégorielle et " multi-types ", alors que pour d'autres elle est numérique et surtout probabiliste. Et pour plusieurs chercheurs, ces deux types de structure semblent incompatibles. Toutefois, certains doutent de cette différence (Setiono et Huan, 1996 ; Gardenfors, 1994). Y a-t-il vraiment une incompatibilité formelle entre les deux? Il est clair, pour le moment, que les deux ne proposent pas comme modèle du fonctionnement d'un STI des structures compositionnelles strictes, c'est-à-dire qu'on ne les voit pas comme des méga-structures grammaticales ou computationnelles (c'est-à-dire des automates de part en part).

3-Un exemple d'un STI symbolique.

Nous avons vu précédemment que tous ces modèles cognitifs tentent de rendre compte a) de la manière dont un objet extérieur est rendu présent (représenté) à l'intérieur du système (c'est-à-dire comment il est devenu une donnée interne) et b) quels sont les opérations applicables à ces données internes (représentations). Un exemple classique de ce type de système est celui du langage. Pour les approches cognitives, le langage est un STI de type symbolique. Il est un comportement cognitif qui établit une mise en relation d'un système symbolique avec le monde. C'est là sa dimension sémantique (référentielle). Un langage effectue aussi un ensemble d'opérations sur des symboles. C'est là sa dimension structurale.

Arrêtons-nous ici sur cette deuxième dimension. Tout comme dans les autres STI, on distinguera habituellement deux niveaux dans l'architecture des opérations sur les symboles⁹. Le premier est celui des opérations qui sont régies par une grammaire, c'est-à-dire des automates et donc des machines de Turing. Ces opérations définissent une syntaxe qui génère les phrases d'une langue. Mais il existe un autre niveau où les phrases sont soumises à des interrelations. Or, celles-ci peuvent à leur tour être vues soit comme compositionnelles (Van Dijk, 19xx ; Petofi, 1972) soit comme non-compositionnelles. Pour Rastier (1994), ces interrelations ne peuvent être compositionnelles et grammaticales. Elles relèvent d'une dynamique tout à fait originale qui constitue ce qu'est précisément *la textualité*. Et pour la comprendre, il faut d'autres concepts comme ceux d'isotopies, d'attracteurs sémantiques, de genres, de réseaux sémantiques, etc. Il faut aussi maîtriser la construction des textes, des conversations et des discours etc. Et cette maîtrise n'est pas le résultat d'un automate. On voit alors pourquoi apprendre un langage (et non simplement une langue) implique plus que la maîtrise de la syntaxe de la phrase. Un bon grammairien n'est pas automatiquement un bon écrivain!¹⁰.

Bref, nous retrouvons dans ce type de STI symbolique notre double architecture. Il présente des constituants de base (les phrases) qui sont habituellement régis par une grammaire alors que les relations entre les phrases ne le sont pas. Ainsi, ce STI symbolique n'est pas régi par un seul niveau d'architecture. Les règles qui régissent le niveau de la phrase ne sont pas nécessairement celles qui régissent leurs interactions dans un texte. Tout n'est pas structure close ou récursive, mais aussi processus heuristique, sinon même invention et création.

6-La culture et les STI

Revenons maintenant à notre question de départ. La culture (comme la conscience) est-elle modélisable comme un système complexe de traitement d'informations? La réponse à cette question peut être positive, mais elle n'est pas simple.

Ainsi, si la culture est le résultat d'un STI de type social, ceci signifierait, malgré des différences de terminologie, qu'elle est aussi le résultat d'un système de traitement complexe de représentations.

"Les représentations sociales doivent être étudiées en articulant éléments affectifs, mentaux et sociaux et en intégrant à côté de la cognition, du langage et de la communication, la prise en compte des rapports sociaux qui affectent les représentations et la réalité matérielle, sociale et idéale sur laquelle elles ont à intervenir.[Jodelet 1989: 41]

Mais, comme nous l'avons vu pour les STI complexes, la culture présentera une double architecture. De fait, nous trouvons dans toutes les modélisations de la culture des constituants de base, c'est-à-dire des modules relativement élémentaires qui forment des totalités autonomes facilement identifiables. Ce seront par exemple des proverbes, des rituels, des cérémonies, des artefacts, des mêmes, des symboles, etc.

Mais la culture n'est pas un simple cumul de tels modules. Elle met en œuvre une dynamique complexe d'interrelations qui est tout autre que celles qu'on peut trouver dans chacun de ces constituants de base. Et pas plus que dans les STI complexes, ces interactions ne peuvent être générées par une grammaire ou un automate. Les ensembles culturels, en ce sens, ne sont pas des groupes de Klein, comme le pensaient certains interprètes de la théorie Lévi-Straussienne (Barbut 1966). Ce ne sont pas des longues phrases bien générées par un anthropologue idéal ou des formules bien formées d'un logicien!

Bref, tout comme les STI sont des régimes non grammaticaux d'interactions de sous-systèmes de divers niveaux, la culture n'est pas non plus une combinatoire systématique et automatique de sous-systèmes de représentations. Mais comment penser cette dynamique? Quels concepts utiliser pour la comprendre. Quel formalisme prendre pour la modéliser ?

Il est intéressant que certains anthropologues, comme Geertz, en appellent précisément à des concepts qui mettent en évidence cette dynamique originale de la culture. Pour lui, la culture peut être vue comme un *texte social*, au sens où elle n'est pas le résultat d'une langue mais d'un langage! Plus précisément encore, elle n'est pas le résultat d'une grammaire mais d'un discours, sinon même d'un dialogue (Vernant 1997). Mais si elle est un texte, comme tout texte (comme nous l'avons montré ailleurs) (Meunier 1996), elle réalise simultanément plusieurs tâches cognitives. Or,

cette combinatoire n'est pas systématique et compositionnelle. D'une part, elle inscrit notre perception du monde, mais, d'autre part, elle balise nos stratégies d'action, façonne nos normes, véhicule nos croyances et, comme le soulignent plusieurs anthropologues, elle construit notre identité.

Jean Guy Meunier
Université du Québec à Montréal

7- Bibliographie

- Albus, J. S., Meystel. A. M. (1996). "A Model Architecture for Design and Implementation of Intelligent Control in Large and Complex Systems International". *Journal of Intelligent Control and Systems*, Vol. 1, No 1 1996, pp 15-30.
- Arbib, M. A., Ed. (1995). *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Arbib, M. A. (1999) Automata. in Wilson, R et Keil. F.(eds), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. Cambridge, MA., MIT Press, pp.60-61.
- Ashby, R., (1956). *An introduction to Cybernetics*. New York. John Wiley.
- Atran, S. (1990). Cognitive Foundations of Natural History. Towards an Anthropology of Science. *Cognitive Foundations of Natural History. Towards an Anthropology of Science*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Bachimont, B., (1996) *Herméneutique matérielle et Artefacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser*, thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, mai.
- Bar Hillel, Y. (1964) Language and information Reading, Mass.
- Barbut Marc (1966) Le sens du mot structure en mathématiques. *Les temps modernes*. No 246: pp.791- 814.
- Barkow, J., L. Cosmides and J. Tooby (Eds.). (1992). *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*. New York: Oxford University Press.
- Boyer, P. (1994) *The naturalness of religious ideas: A cognitive theory of religion*. Berkeley : University of California Press.
- Bradshaw, J. M. (1997) *Software Agents*. Cambridge, MA., MIT Press
- Braga, I. F. (ed) (1997). *Livelli di rappresentazione*. Urbino, Quattro venti.
- Brentano, F. (1944) *Psychologie du point de vue empirique*, Aubier, Paris (1874).
- Brooks, R.A. (1989) A robot that walks : emergent behaviors from a carefully evolved network, *Neural Computation*. 1: 253-62
- Cassirer, E., (1969). Le langage et la construction du monde des objets, in PARIENTE, J. C., dir., *Essais sur le langage*, Minuit, 1969, pp. 36-68.
- Chalmers, D. J. (1991) *Consciousness and Cognition*, Center for Research on Concepts and Cognition. Indiana University Press. Preprint.
- Churchland. P. M., (1989) *The Neurocomputational Perspective*. Cambridge, MA., MIT Press
- Clark, A. (1989) *Associative Engines*, Cambridge, MA., MIT Press.
- Cummins, R. (1989) *Meaning and Mental Representation*, Cambridge, MA., MIT Press.
- Dawkins, R. (1982) *The Selfish Gene*, Oxford University Press.
- Dennett, D. (1978) *Brainstorms*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Drestke, F. I. (1982). *Knowledge and the flow of information*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Durham, W. (1991). *Coevolution. Genes, Cultures and Human Diversity*. Stanford, Stanford University Press.
- Flückiger, F. (1995) *Contributions Towards a Unified Concept of Information*, PhD. Amsterdam U.
- Fodor, J. A. (1975) *The Language of Thought*, New York: Crowell.
- Fodor, J. A. & Pylyshyn, Z. W. (1988) Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*, 28(1-2), 3-71.
- Franklin S. & Garson, Max (1989). Global Dynamics in Neural Networks. *Complex Systems*. 3: 29-36
- Franklin, S. (1995) *Artificial Minds*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Gärdenfors, P. (1994) How logic emerges from the dynamics of information, in van Eijck J., Visser, A. in *Logic and Information Flow*. Cambridge, MA., MIT Press.

- Geertz, C. (1973) *The Interpretation of cultures : Selected essays*. New York, Basic Books.
- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the Visual World*. Boston, Houghton Mifflin.
- Globus, G. G. (1992) Toward a noncomputational cognitive neuroscience, *Journal of Cognitive Neuroscience*. 4(4): 299-310.
- Grossberg, S. (1988). *Neural Network and Natural Intelligence*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Harris, M. (1968) *The Rise of Anthropological Theory*. New York, Crowell.
- Haugeland, J. (1986) *Artificial Intelligence: The very Idea*. Bradford Book, Cambridge, MA., MIT Press.
- Holland, J. H. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Husserl E. (1948) *Méditations cartésiennes*. Paris, Vrin.
- Jackendoff, R. (1987) *Consciousness and the Computational Mind*. Bradford Book, MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1988) *The Computer and the Mind*. Cambridge, MA., Harvard University Press.
- Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1978) Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*. 85 : 363-394.
- Lacharité, N. (1996) Conflits de modèles en théorie de la représentation. In Rialle, V. & Fiset, D., *Penser l'esprit : des sciences de la cognition à une philosophie de l'esprit*. Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- Langer S. K. (1979) *Feeling and Form : A theory of Art*. Londres, Routledge & Keagan.
- MacKay, D.M. (1952) The nomenclature of information theory. In MacKay, D.M. (ed) *Information, Mechanism and meaning* Cambridge Mass. 1969.)
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco, W. H. Freeman.
- Maturana, H.R et Varela, F.J. (1980) *Autopoiesis and Cognition` : The Realization of the Living*. Dordrecht, Boston, Londres, D. Reidel.
- Meunier, J. G. (1996) La théorie cognitive: son impact sur le traitement de l'information textuelle. In V. Rialle et Fiset, D (Ed.), *Penser l'Esprit, Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive*. Grenoble, Presses de L'Université de Grenoble, pp.289-305.
- Meunier, J.G. (2001) La représentation et les sciences cognitives. *Revue Sémiotique Semiotic Inquiry* (RSSI), vol. 19, no 2-3, pp. 83-105.
- Montague, R. (1994) *Formal Philosophy*, New Haven, Yale U. P., 1974.
- Moravec, Hans (1988) *Mind Children*. Cambridge, MA., Harvard University Press.
- Nauta, D. (1972) *The Meaning of Information*. The Hague, Mouton.
- Newell A., and Simon H. (1976) Symbol Manipulation. In *Encyclopedia of Computer Science*, New York, Petrocelli/Charter.
- Ogden, R & Richards, I. A. (1923) *The meaning of meaning*, New York, Harcourt Brace & World.
- Peirce, C. S. (1931-58) *Collected Papers*, Cambridge, Harvard University Press.
- Penrose, R. (1994) *Shadows of the mind*. Oxford University Press.
- Petofi, J. (1972). "The syntactico-Semantic Organization Of Text-Structures". *Poetics* 3
- Petitot, J. (1985) *Morphogénèse du Sens*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Pinker, S. (1997) *How the Mind Works*, WW Norton.
- Poinsot. (1984) *Tractatus de signis. The semiotics of Poinot*. Traduit par J. Deeley. & Powell, R. A. Berkeley U.P. 607 pp.
- Pollock, J. L. (1989) *How to Build a Person: A Prolegomenon*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Popper, K. (1963) *Conjectures and refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. New York, Harper and Row.
- Pylyshyn, Z. (1984) *Computation and cognition*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Rastier, F., Cavazza, M., & Abeillé, A. (1994) *Sémantique pour l'analyse : De la linguistique à l'informatique*. Paris, Masson.
- Rumelhart, D. and Mc Lelland, J. L. (1987) *Parallel Distributed Processing*, Vols. I et II. Cambridge, MA., MIT Press.
- Scott Kelso, J. A. (1995) *Dynamic Patterns*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Setiono, R. and et Huan, L. (1996) Symbolic Representation of Neural Networks, *Computer*, Vol. 29, no 3 (March), pp.71-77.
- Simondon M. (1969) *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier-Montaigne.
- Skarda, C. & Freeman, W.J. (1987) How brains make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 10, pp.161-195.

- Smith-Churchland P. & Terrence J. Sejnowski, T. J. (1989) Neural Representation and Neural Computation. In Nadel, L, Cooper Lyn A., Culicover, P. Harnish (eds) *Neural Connections, Mental Computation* Cambridge University Press.
- Smolensky, P. (1988) On the proper treatment of connectionism, *The Behavioral and Brain Sciences*, II, pp.11-74
- Sperber D. (1996) *Explaining Culture: A Naturalistic Approach*. Oxford, Blackwell.
- Sperber, D (1974) *Le symbolisme en général*. Paris, Hermann.
- Stiegler, B. (1994) *La technique et le temps*. Paris, Galilée.
- Thom, R. (1975) *Modèle mathématique de la morphogénèse*. Paris, Christian Bourgois.
- Todorov, T. (1978) *Symbolisme et interprétation*. Paris, Le Seuil.
- Turing, A. (1937) Computability and Lambda definability. *Journal of Symbolic Logic*. 2, pp.153-163
- Uexküll, Jakob von (1940) *Bedeutungslehre*. Berlin, Fisher.,
- Varela F. J. (1988) *Invitation aux sciences cognitives*. Paris, Seuil.
- Vernant Denis (1997) *Du discours à l'action*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Dijk, T.Van (1977) *Text and context*. London: Longman.
- Van Gelder T. (1997) Dynamics of Cognition. In Haugeland, J. (dir.), *Mind Design*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Van Gelder, T. & Port, R. (1995) *Mind as motion: Explorations in the dynamics of cognition*. Cambridge, MA., MIT Press.
- Von Neumann, J. (1958) *The Computer and the Brain*. New Haven, Conn., Yale University Press.
- Wilson., E. O. (1975) *Sociobiology : The new synthesis*. Cambridge, MA., Bellknap.
- Winograd, T. and Flores, F. (1988) *Understanding Computers and Cognition*. Norwood, N. J., Ablex.
- Young, P. (1987) *The Nature of Information*. New York, Praeger.

Notes

¹ Fodor (1981) n'a rien inventé en jouant sur l'écriture de " Re-Presentation ", c'est une formulation classique de la philosophie du Moyen Age et de la Renaissance.

² Des thèses similaires seront reprises aujourd'hui dans les concepts de résonance de Thom (1996) ou de " affordance " de Gibson (1950), de réceptivité (Lacharité, 1996).

³ Le concept de symbole peut être étendu pour couvrir tout le " représentationnel " ou le sémiotique, et même l'inconscient. On retrouve ce sens général chez Cassirer (1969), Ogden et Richard (1923), Langer (1979), Sperber (1974), Todorov, 1978. De nombreux anthropologues se rattachent à ce sens général. Mais celui qu'il reçoit en IA et en sciences cognitives est plus technique. Il vient de la logique " symbolique ". Il est en ce sens très proche de celui que lui donne Peirce à savoir : un signe autonome dont la signification est fondée sur une convention et qui permet l'inférence.

⁴ Il est ici intéressant de se rappeler que le débat autour du " naturalisme " en matière de conscience remonte précisément à cette distinction entre une représentation (un signe) et une représentation non naturelle.

⁵ Être représentationnel n'implique pas d'emblée un type particulier de statut ontologique. Une représentation peut être aussi bien pensée comme une entité logique (un prédicat) que comme le résultat d'un classifieur de propriétés physiques ou une occurrence physique. En ce sens, une théorie de la représentation peut aussi bien soutenir un dualisme métaphysique qu'un monisme réductionnisme.

⁶ Ce modèle est applicable dans la mesure où on peut démontrer que les opérations du système sont des fonctions récursives applicables aux intrants, c'est-à-dire que les fonctions de transformation sont calculables. Ce qui n'est qu'une hypothèse toujours démontrable pour tous les systèmes naturels.

⁷ Souvent la modélisation mathématique de l'ensemble du système masque la présence de certains micro-automates. Par exemple, dans un modèle quantique (voir Penrose, 1994), on prendra des atomes comme des primitifs et l'on tentera de montrer que la dynamique qui les régit n'est pas linéaire. Mais souvent, dans ces modèles, mêmes les atomes sont des mini-systèmes. Ils sont analysés dans la " totalité " systémique. C'est-à-dire d'une *mécanique*, que celle-ci soit conçue de manière classique ou de manière dynamique .

⁸ Une traduction formelle de ce module de base permet de mieux en saisir la nature et d'en dégager des caractéristiques. En effet, le schéma de la figure 1 peut être traduit en termes fonctionnels. On peut ainsi dire que chaque constituant de base est une fonction qui s'applique à des arguments, c'est-à-dire des entités e (intrants) de type catégoriel i et qui produit des entités e de type catégoriel k (produit). En termes algébriques (à la Montague 1977) nous dirons alors que le module de base d'un STI se définit algébriquement ainsi :

$$STI_i: \langle F_i (e_1, \dots, e_n), e_k \rangle$$

C'est-à-dire qu'il est une fonction F_i applicable à des entités e de catégorie i et qui produit des entités de catégorie k .

Autrement dit, le module de base d'un STI peut être vu comme le résultat d'une fonction O qui, appliquée à une donnée d'entrée (son argument) de catégorie i , produit en sortie (sa valeur) une entité de catégorie k .

Théoriquement très simple, cette traduction logico-formelle du schéma de la figure 1 nous permet cependant de préciser certaines caractéristiques importantes de la nature fonctionnelle d'un module de base d'un STI.

Premièrement, nous pouvons distinguer clairement entre les modules de bases d'un STI et ce sur quoi ils opèrent. Dans ce formalisme, les modules de base ne sont pas les mots ou les symboles atomiques mais les "équations" ou "formules" des fonctions elles-mêmes. Dans les modèles symboliques classiques, on postule que ces fonctions sont récursives et donc calculables. En cela, elles sont des machines de Turing et donc des automates. On peut cependant se demander si ces modules de base doivent toujours opérer sur des intrants qui sont *discrets* et *atomiques*. Et réalisent-ils toujours des fonctions calculables, récursives ou "Turing réalisables. Autrement dit : des modules travaillant sur du continu est-il pensable? La réponse à cette question n'est pas simple. En effet, il n'est pas assuré que toutes ces fonctions sont nécessairement des fonctions récursives. Comme l'a montré la réflexion théorique sur ce problème (Turing 1937), on ne peut montrer *a priori* qu'une fonction est récursive ou une machine de Turing. De plus, en mathématique, la majorité des fonctions sur les nombres ne sont pas récursives et calculables et, en conséquence, ne sont pas "Turing réalisables". Qu'en est-il alors des domaines non-mathématiques? Autrement dit, on peut penser que ces fonctions sont effectivement des machines de Turing, mais encore faut-il le démontrer et, qui plus est, rien *a priori* nous assure qu'elles le seront toutes.

Deuxièmement, cette traduction formelle nous permet de voir que la fonction, si simple soit-elle, est toujours déterminée par quelque chose d'extérieur à elle-même. En effet, dans toute fonction, il faut préciser le critère qui permet son application à ses arguments, c'est-à-dire qu'il faut déterminer ce qui la définit et la contrôle. Or, comme le montre le schéma de la figure 1, les instances de contrôle ne sont pas toujours et nécessairement des règles ou des automates et, surtout, elles sont toujours extérieures au système. Autrement dit, ce n'est pas chaque système qui décide par lui-même de ce que sera la fonction de contrôle. Celle-ci lui est attribuée de l'extérieur. Dans les systèmes symboliques classiques, elles viennent de règles, de définitions de domaines, d'attribution de valeurs aux variables etc. qui sont toujours à l'extérieur du système spécifique sur lequel elles sont appliquées. Elles doivent, par exemple, avoir été stipulées ou apprises. Dans les systèmes dynamiques auto-organisationnels, les paramètres, les seuils, les domaines, les degrés de liberté du traitement joueront ce rôle. Ici encore, ces instances de contrôle seront extérieures au sous-système spécifique auquel elles sont liées.

Cette dernière dimension n'est malheureusement pas toujours mise en évidence dans la présentation des modèles des STI. Le tout apparaît comme se réalisant de manière interne à une fonction ou au module lui-même. Or dans un système particulier, il n'appartient jamais à ce module de déterminer par lui-même les règles ou paramètres qui contrôlent son traitement. Autrement dit, les modules de base des STI en appellent à d'autres "intervenant" pour opérer. Et ceci ouvre la problématique de l'interaction des niveaux entre eux.

⁹ Ce même schéma de base retrouve aussi dans les langages logiques. On distinguera une théorie de la syntaxe des formules d'une théorie de la preuve ou de la démonstration. Le premier niveau est régi par une grammaire à états finis. Alors que le deuxième –celui de l'interaction des formules-, c'est-à-dire de la preuve, n'est pas régi par une telle grammaire. Toute comme dans la langue, le logicien qui maîtrise les règles pour produire des formules bien faites ne possède pas du coup les preuves de ces théorèmes

¹⁰ On touche ici tout le débat de Hilbert, Godel, Church et Turing. Un système axiomatique peut présenter des fonctions calculables pour la production de ses formules élémentaires et complexes. Mais, il ne s'en suit pas que l'interrelation entre ces formules, c'est-à-dire qu'une preuve, une démonstration soit le résultat de fonction calculable.