

Vers un sujet narratif de la connaissance dans les modélisations de l'apprentissage¹

Monique LINARD, Professeur
IRPEACS / CNRS, Ecully

Dans la première partie, on montre comment certaines propositions en psychologie du développement, en philosophie du langage, en sémantique et en biologie convergent sur un constat : celui que pour une intelligence naturelle, l'information pure n'existe pas. Pour l'homme, en particulier, l'information est toujours un acte de connaissance en contexte, par quelqu'un à propos de quelque chose. L'incarnation de la connaissance dans un corps bio-psycho-physique et dans un environnement symbolique et social pré-existants n'est un facteur ni négligeable, ni séparable, mais constitutif de l'activité de connaissance (perspective phénoménologique).

Dans ce cadre, les objets et les tâches cognitifs n'existent pas "en soi" mais en tant que produits par des sujets. Ces sujets sont eux-mêmes orientés par des intentions, des motivations et des significations qui constituent un méta-niveau spécifique de pilotage de l'action, différent de ceux relatifs à la stricte logique de la tâche.

La seconde partie montre qu'un début de formalisation d'un "sujet" de la connaissance est possible à partir d'une perspective à la fois actionnelle et narrative de l'activité humaine. Le modèle actantiel issu de la théorie sémio-narrative de A.J. Greimas est brièvement exposé. Il permet d'interpréter l'acte d'apprendre comme la quête individuelle d'objets particuliers, les objets de connaissance ; de la part d'acteurs-sujets en situation évolutive d'interaction sociale polémique-contractuelle. Le modèle fournit une description opératoire qui intègre dans un cadre narratif général quelques uns des rôles sociaux, des modalités d'attitude individuelles et des variables situationnelles qui constituent la dynamique des interactions humaines.

On termine par l'exposé des principes d'une simulation, INTERACTOR, qui est une application dérivée du modèle (implémentée en Prolog et Visual Basic). La simulation est conçue comme un outil d'initiation pour explorer la complexité dynamique des interactions entre attitudes cognitives et socio-affectives, variables personnelles et situationnelles qui déterminent "en amont" l'activité cognitive des individus en apprentissage.

1. Modélisation logico-symbolique et neuro-mimétique et apprentissage

En tant que principe d'assimilation de l'intelligence au traitement de l'information par automate logique, le paradigme cognitiviste a mis près de trente ans à être reconnu comme tel. De même, le champ cognitiviste a-t-il mis longtemps à rapprocher de façon effective l'ensemble des disciplines préoccupées par l'articulation des deux dimensions de la pensée humaine : la dimension cérébrale matérielle (neurophysiologique et biologique) et la dimension mentale symbolique (psychologique, linguistique, mathématique, ethnologique). Mais l'évolution continue des formalismes logico-symboliques a permis de mettre des contenus de plus en plus précis sous une étiquette longtemps restée vague et le cognitivisme est récemment devenu une référence reconnue, sinon complètement stabilisée.

¹ Cet article est paru dans : *Intellectica*, revue de l'ARC-CNRS, n° 19, 1994/2, pp. 117-165.

Dans le même temps, les réseaux neuro-mimétiques de processeurs parallèles en interaction, inspirés de la biologie du cerveau, ont commencé à être implémentés avec succès sur les machines héritières de l'automate logique de Turing. Le principe néo-connexionniste d'émergence de formes à partir de la relaxation de variables numériques interconnectées est ainsi venu opposer une alternative radicale au traitement syntaxique de l'inférence de propositions à partir de règles séquentielles.

Depuis, le calcul symbolique de la logique propositionnelle se confronte au calcul subsymbolique de la logique activationnelle. Et la rigoureuse certitude linéaire du raisonnement conceptuel se heurte aux approximations et aux fluctuations incertaines de la reconnaissance des formes sensibles. Il est vite devenu évident que ces deux modèles computationnels de traitement du réel sont davantage complémentaires qu'exclusifs (Nguyen-Xuan, Grumbach, 1988). Mais on ne sait toujours pas comment les articuler. Et si l'on discerne bien les domaines d'excellence de chacun, leur égale nécessité ne manque pas de poser actuellement de difficiles problèmes théoriques et pratiques, aussi bien en informatique que dans la modélisation des phénomènes (Anderl, 1992).

La difficulté apparaît, en particulier, dès que l'on tente de concevoir une modélisation de l'apprentissage, qu'on le définisse comme processus d'acquisition ou plutôt de transformation². La difficulté s'accroît quand on cherche à modéliser un apprentissage non seulement cumulatif, mais aussi adaptatif, qui présuppose une méta-capacité de modification des acquis antérieurs. Elle est à son maximum quand on vise un apprentissage autonome de type humain, qui implique la mise en oeuvre de représentations mentales multiples, d'une capacité de symbolisation et d'un pilotage de l'action par l'intention et la motivation. (George, 1990 ; Lindsay et Norman, 1981).

Il convient donc de distinguer deux types d'apprentissage correspondant à deux niveaux en étroite interdépendance de l'activité humaine :

- l'apprentissage de premier niveau, réactif involontaire automatique inconscient: lié à l'équilibration (assimilation/accomodation) des structures internes par rapport aux stimuli externes; il s'effectue à partir d'une auto-régulation homéostatique de type piagétien ou édelmanien (Edelman, 1992), fondée sur le contrôle circulaire par bouclage des effets sur les causes et re-entrée des signaux sur les sources. Cet apprentissage relèverait plutôt du modèle connexionniste ;
- l'apprentissage actif volontaire de second niveau, avec régulation autonome consciente réfléchie par le système de sa propre activité; fondé sur le niveau précédent, il est orienté et finalisé chez l'homme par un méta-niveau intentionnel et motivé de buts auto-générés selon des critères identifiables. Cet apprentissage relèverait plutôt du modèle logico-symbolique.

L'adaptation, quant à elle, peut se concevoir comme une variété finalisée de méta-apprentissage, définie non pas en soi mais en relation à un contexte. Elle consiste pour un système à acquérir et modifier des états (structuraux et/ou fonctionnels) par rapport aux contraintes de l'environnement, non seulement de façon appropriée à ses structures mais de façon optimale pour sa propre conservation. Elle peut être réactive ou active selon le niveau d'activité auquel elle s'applique.

² Définition insistant sur la transformation : "Processus de modification des connaissances, ou de modification des comportements, au cours des interactions d'un organisme (d'un système) avec son environnement" (George, 1990, 93).

Les problèmes de formalisation iront donc croissant selon qu'on se limite à un apprentissage élémentaire de type purement réactif³ ou qu'on vise un apprentissage de type actif, adaptatif et autonome, dépassant le conditionnement comportementaliste⁴ pour rendre compte de son auto-pilotage par l'organisme.

Actuellement, chacun des deux modèles computationnels ne rend compte que d'un seul niveau d'apprentissage, et encore de façon très limitée. Si bien que, pour reprendre C. Bastien (1988, 37, 38), l'apprentissage cognitif peut recevoir deux définitions très différentes quasi exclusives selon le modèle de référence utilisé. Soit c'est le résultat de "*l'activité même du sujet qui résout un problème*". Apprendre consiste alors : "*à modifier sa stratégie de traitement en fonction des résultats qu'elle produit*" (définition symbolique de l'apprentissage par l'action selon Anzai et Simon, cités). Soit apprendre se définit comme "*l'établissement d'un réseau de connections qui peuvent s'exprimer en termes de probabilités*" (définition connexionniste). Et apprendre consiste à associer des éléments par propagation d'activations/inhibitions entre entrées et sorties. Mais il faut bien le constater, l'apprentissage connexionniste demeure restreint et le symbolique faible ou nul dès qu'on sort du micro-monde prévu.

Au-delà des oppositions évidentes des deux modèles, on remarquera plusieurs points communs. Leur traitement de l'information ne fonctionne que sur un seul principe, soit par équilibrage purement numérique de valeurs (modèles connexionnistes) soit par raisonnement purement logico-opérateur (modèles symboliques). Quoique diversement situés par rapport aux deux niveaux de l'apprentissage humain proposés plus haut, ils partagent la même dépendance par rapport à la programmation initiale du concepteur extérieur. Ils souffrent aussi d'un même manque: celui d'un méta-niveau d'intentionnalité et de motivation autonome pouvant les doter d'un instrument propre de catégorisation et d'évaluation. Enfin, dans les deux cas, le résultat de leurs calculs reste sans conséquence décisive sur le mode de fonctionnement.

On ajoutera que, fait plus grave en ce qui concerne l'adaptation, aucun des deux modèles ne dispose des moyens de formaliser une production autonome d'information et moins encore en fonction d'objectifs d'auto-conservation.

On remarquera pourtant que J. Piaget, psychologue du développement, a montré il y a des décennies que le développement de l'intelligence adaptative nécessite non seulement des

³ Apprentissage réactif, de type automatique ou conditionné : processus élémentaire de modification des réponses d'un système en fonction de ses propres structures et des données de l'environnement auxquelles il est immédiatement adapté.

⁴ Apprentissage de type behavioriste classique : montage d'associations entre stimuli externes et réponses de l'organisme en termes de comportements observables par conditionnement à partir de manipulations systématiques de l'environnement par un expérimentateur.

niveaux différents de régulation et d'action, conscients et inconscients, mais aussi une capacité d'auto-réflexion et des critères d'utilité fonctionnelle en étroite interdépendance⁵.

2. La confusion entre information et connaissance : les méta-niveaux intentionnels et motivationnels de pilotage du traitement

On pose l'hypothèse de base que la plupart des difficultés actuelles des formalismes computationnels à prendre en charge l'apprentissage vient du fait qu'ils tendent à confondre "traitement de l'information" par automate et "connaissance" humaine.

L'information est une quantité de probabilité ou de variation d'évènement, transcrite en une organisation syntaxique de symboles purement formels entraînant des différences de traitement purement physiques dans un système matériel. Ce système inerte est par principe insensible à son environnement (sauf pour ses conditions mécaniques de fonctionnement). C'est un outil d'exécution, indifférent par principe aux significations des symboles utilisés et aux résultats produits.

La connaissance est une organisation syntactico-semantic-pragmatique d'un système vivant, bio-psycho-sociologique, directement intéressé aux résultats de son activité pour sa survie et sa satisfaction. Largement qualitative et formalisée seulement en partie, la connaissance est auto-générée par un système hyper-sensible à son contexte qui évolue et produit des interprétations, des décisions et des actions en fonction de ses interactions (de son expérience) avec le milieu dont il dépend. C'est cette situation d'interdépendance avec son milieu qui rend les résultats de son activité plus ou moins intéressants pour le système et lui fournit des critères sélectifs et cohérents de valeurs, de signification et de jugement.

Entre information et connaissance, il y a toute l'épaisseur d'un sujet de la signification et de l'action, ce "mixte de causalité et d'intentionnalité" qui caractérise les calculs de "quelqu'un" pour "quelque chose" (Ricoeur, 1990).

Il s'ensuit que les formalismes actuels, malgré leurs progrès en la matière, continuent à ne traiter que de l'information (calcul sur des formes syntaxiques sans référence sémantique externe produisant des résultats indifférents pour le système). Ils ne peuvent pas traiter des connaissances (calcul sur des formes signifiantes renvoyant à une expérience diversifiée associée à des valeurs intéressantes pour le système). Si bien qu'ils ne peuvent modéliser que, soit un apprentissage homéostatique élémentaire de niveau 1 (modèles connexionnistes) soit un pseudo-apprentissage symbolique de niveau 2. Cet apprentissage est qualifié de "pseudo" parce que les symboles ne renvoient à aucune information significative pour le système et que l'activité de ce dernier est totalement déterminée de l'extérieur par une programmation de buts et de procédures sans conséquences pour son organisation.

⁵ A propos des mécanismes de la prise de conscience : "La prise de conscience (...) consiste à faire passer certains éléments d'un plan inférieur inconscient à un plan supérieur conscient et (que) ces deux paliers ne sauraient être identiques, sinon il n'y aurait pas de problème et le passage serait aisé, ce qui n'est pas le cas. La prise de conscience constitue donc une reconstruction sur le plan supérieur de ce qui est déjà organisé, mais d'une autre manière, sur le plan inférieur et les deux questions sont alors celle de l'utilité fonctionnelle de cette reconstruction et celle de sa procédure structurale. "Du point de vue de l'utilité fonctionnelle, Claparède avait déjà remarqué que la prise de conscience se produit à l'occasion d'une désadaptation, car, lorsqu'une conduite est bien adaptée et fonctionne sans difficultés il n'y a pas de raison de chercher à en analyser consciemment les mécanismes. Or, si une action bien adaptée n'a pas besoin de prise de conscience, c'est qu'elle est dirigée par des régulations sensori-motrices suffisantes, qui peuvent alors s'automatiser. Au contraire, lorsqu'un réglage actif devient nécessaire, ce qui suppose des choix intentionnels entre deux ou plusieurs possibilités, il y a prise de conscience en fonction de ces besoins eux-mêmes" ("Inconscient cognitif et inconscient affectif", Conférence à The American Psychoanalytic Society Association, 28 décembre 1970 ; trad. fcse : *Raison Présente*, n° 19, Juillet/Août/Septembre 1971, pp. 16-17.

On avance, en conséquence, que les modèles computationnels apprennent peu ou mal précisément parce que ce sont des être informationnels. Enfermés dans une logique homogène unidimensionnelle ils ne sont pas concernés, comme les êtres de connaissance, par les résultats de leur activité. N'existant pas en tant qu'entités autonomes, ils n'ont ni les moyens ni les raisons de chercher à se modifier par rapport à un extérieur qu'ils ignorent. Ne traitant l'information que selon le seul critère interne de la correction formelle (qu'elle soit de syntaxe logico-symbolique ou de propagation de valeurs dans un réseau), ils ne disposent pas des méta-niveaux qui leur donneraient les critères d'un autre ordre nécessaires pour évaluer l'intérêt et la pertinence de leurs états et prendre des décisions motivées de réorganisation.

En ce qui concerne les modèles logico-symboliques de la connaissance, on pose que c'est en raison de la clôture strictement logico-syntaxique et de l'indifférence sémantique de leur formalisation aux propriétés externes de la signification et de l'intention motivée que, privés de tout méta-niveau de pilotage, ils se trouvent incapables d'apprendre de manière adaptative.

Grands raisonneurs, gestionnaires et planificateurs d'informations pré-digérées, ils restent de piètres appreneurs parce qu'ils ne peuvent qu'exécuter des commandes et non pas les élaborer en tant que réponses propres. Ne dépendant pas pour leur fonctionnement d'une interaction directe avec l'environnement, ce sont également des extracteurs de formes et des auto-organiseurs quasiment nuls, paralysés par l'imprévu. L'apprentissage par mémorisation de résultats associés à des buts prédéfinis est le seul qui leur soit accessible. Pour reprendre la distinction de N. Chomsky à propos des types de transformation de la grammaire générative, l'apprentissage logico-symbolique n'ayant pas les moyens de modifier ses règles ("*rule-changing*"), il reste essentiellement gouverné par ses règles ("*rule-governed*"), donc essentiellement cumulatif et conservateur.

Pour les réseaux neuro-mimétiques, la proposition est inverse. Leur conception non plus logique mais associationniste et leurs entrées en prise directe sur les formes et les valeurs de l'environnement physique en font de bons percevants, de bons auto-organiseurs et classificateurs et de bons apprenants pouvant s'adapter aux variations même imprévues de leurs entrées. Mais dépourvus de tout pilotage interne autre que celui de l'auto-équilibre automatique des valeurs d'activation de leurs unités, ils restent des apprenants implicites. Obscurs, souvent capricieux et imprévisibles et tout aussi indifférents que les systèmes logiques aux effets pour eux-mêmes de leurs propres calculs, ce sont des planificateurs quasiment nuls en l'état actuel.

3. Le corps médiateur de connaissances "au-delà de l'information donnée"

Vouloir faire apprendre une machine (système artificiel) de façon adaptative-active c'est, en fait, lui demander d'apprendre sinon exactement comme un homme (système naturel), du moins d'une manière plus proche de celle d'un homme. Ceci implique qu'on lui donne les moyens de traiter l'information de manière comparable: c'est-à-dire non pas comme un calcul neutre purement logico-opératoire, hors contexte, hors espace-temps, hors sujet et hors besoins mais comme un calcul significatif d'actions auto-finalisées complexes (Maturana, Varela, 1980 ; Varela, Thomson, Rosch, 1993 ; Lemoigne, 1990). Un tel système devrait ainsi pouvoir aller "au-delà de l'information donnée" (Bruner, 1966, 1991) et viser des résultats ayant une valeur significative pour lui.

L'automate formel à plusieurs niveaux devrait donc disposer des moyens minimaux d'une "intelligence" du réel, au sens étymologique de la capacité à "relier ensemble". Comme l'homme, que ce soit au niveau symbolique des représentations mentales ou au niveau biologique des défenses immunitaires, il devrait pouvoir "comprendre" (prendre avec) de façon cohérente et auto-finalisée les données externes et les données internes issues de son

expérience. Il devrait pouvoir se les représenter⁶ comme différentes de ses attentes à un méta-niveau et se ré-équilibrer en intégrant ces différences en nouvelles formes d'organisation. Pouvant interpréter et assimiler "pour soi" les formes, selon ses propres critères, il pourrait aussi s'accommoder (se modifier de façon adaptée) aux contraintes du réel (Piaget). Il aurait ainsi les moyens de s'adapter de manière "intelligente" en subordonnant les buts purement opératoires de ses calculs aux méta-buts de finalités intentionnelles motivées, conscientes et inconscientes.

Mais comprendre implique un "soi" de référence relativement stable et différencié qui produise les méta-critères nécessaires pour sélectionner et transformer les entrées brutes en représentations et en catégories pertinentes auto-finalisées. Seul un soi différencié peut piloter une adaptation à double niveau: non seulement celui de la tâche immédiate, selon des comparaisons locales de moyens-buts; mais aussi celui des intérêts organisateurs à long terme du système, qui assurent en amont et au-delà de la tâche la sélection des buts et le suivi à long terme de leur réalisation. C'est ce soi différencié qui, dans une résolution de problème, choisira une solution non parce qu'elle est logiquement plus efficace à l'instant mais parce qu'elle risque d'être plus intéressante pour la satisfaction ultérieure de ses besoins ou de sa conservation.

La différenciation entre interne et externe est donc la condition préalable de toute intégration compréhensive et de toute méta-cognition (Nguyen-Xuan, 1990). Elle oppose au principe de séparabilité entre niveau cérébral et niveau mental propre à l'IA, le principe de coupure entre moi et non moi, propre au vivant.

Mais chez l'homme, ces méta-calculs intentionnels ne s'élaborent pas *in abstracto*. Ils résultent d'une expérience corporelle interactive prolongée et répétitive de l'espace-temps orientée du passé vers l'avenir. Et cette orientation est liée aux conditions mêmes de son existence, à la fois biologique et psychologique, physique et symbolique, individuelle et sociale.

Les travaux les plus récents de la neurobiologie du cerveau apportent une confirmation expérimentale éclatante au rôle primordial de l'"incarnation" du mental dans le cérébral, déjà amplement explorée par la psychologie du développement. (Pribram, 1986 ; Edelman, 1992). C'est la séparation entre l'interne somatique du cerveau et l'externe du monde physique environnant qui permet d'alimenter chaque individu en myriades de signaux cérébraux différenciés, à source aussi bien auto qu'hétérogène. Edelman montre que les boucles de "re-entrées" neuronales systématiques forment le pont crucial entre physiologie et psychologie. Elles assurent la coordination sélective des interconnexions somatiques établies à partir des signaux perçus et les transforment en réseaux associatifs dynamiques hyperdenses et interactifs ou "cartes cognitives". Ces cartes cognitives somatiques sont hautement individuelles dans leur élaboration. Elles sont sélectionnées et convergent ensuite en catégorisations adéquates et significatives du réel à partir d'un "système de valeurs" hérité de l'évolution phylogénétique et l'expérience culturelle de chaque individu.

Pour Edelman, c'est bien l'"incarnation" neurobiologique qui produit les conditions d'émergence de la "conscience" à partir de la fabuleuse complexité de ses composants et de leurs interconnexions. Mais c'est le "système de valeurs" légué par l'évolution biologique (survie et satisfaction du corps dans son entier) et par la culture (relations et intégration sociales) qui oriente la sélection des cartes somatiques élémentaires et les fait converger en catégories mentales (méta-cartes globales) et en comportements adaptés. Sélectionnés parce

⁶ "comprendre, c'est construire une représentation, c'est-à-dire élaborer une interprétation qui soit compatible à la fois avec les données de la situation, symboliques (énoncé, texte, dessin) ou matérielles (objets physiques), avec la tâche à réaliser et avec les connaissances qui sont en mémoire (Denhière, 1990, 70)

qu'adaptés, insiste l'auteur, et adaptés parce que précisément "compatibles" avec ces valeurs. (Edelman, *op. cit.*, p. 124).

La relation entre valeurs, orientation intentionnelle et incitation énergétique des conduites n'est pas une découverte en psychologie. Ce qui est nouveau, c'est que la neurobiologie en apporte des preuves physiques au niveau cérébral.

4. Associationnisme comportemental contre structuralisme développemental en psychologie : la bataille du sujet

C. Bastien soutient que le problème de l'apprentissage est devenu un véritable enjeu non seulement pour l'avenir des modèles de résolution de problèmes mais aussi pour le débat actuel entre modèles connexionnistes et modèles symboliques du traitement de l'information. Il remarque que ce débat peut apparaître comme la résurgence de controverses plus anciennes qui ont opposé, en ce qui concerne la définition des processus cognitifs, la conception guidée par les stimulus, à la conception guidée par les connaissances des sujets (Bastien, 1988, p. 38).

On peut aussi remonter à un conflit épistémologique plus ancien qui, à partir des années trente, a longtemps divisé en deux camps la psychologie :

- le camp "mentaliste" des psychologies de la genèse des formes représentationnelles et symboliques, d'orientation constructiviste dynamique et interactive, aussi bien individuelle que sociale (Vygotsky, Piaget, Wallon, mais aussi Freud en Europe, relayés par Gesell, Spitz et Bruner aux Etats-Unis) ;
- le camp "physicien" de la psychologie comportementale objectiviste associationniste, fondée sur le conditionnement de réflexes par manipulation externe des renforcements de liaisons entre stimulus et réponses (Pavlov en URSS, Watson, Hull, Thorndike, relayés par Skinner aux Etats-Unis).

Le problème de l'apprentissage a été l'un des champs de bataille favoris entre les deux courants. Il a abouti à la défaite du comportementalisme au sens strict dans les années soixante, moins en raison du triomphe définitif des autres psychologies, qu'en raison de son incapacité totale à rendre compte de l'apprentissage et de l'aspect génératif du langage à partir du seul principe associationniste du conditionnement (Chomsky contre Skinner).

La psychologie structuraliste des stades de l'intelligence de Piaget, la psychologie interactionniste de la médiation sociale de Vygotsky, Wallon et Bruner, mais aussi la métapsychologie freudienne des relations entre processus primaires affectifs inconscients et processus secondaires symboliques, sont parmi les exemples les plus illustres du camp de la genèse du sujet humain. Elles ont été longtemps ignorées par l'IA alors qu'elles peuvent apporter des réponses très pertinentes aux questions difficiles de la production autonome des connaissances.

Les conceptions piagétienne et freudienne, en particulier, qui s'opposent sur le primat de l'origine, cognitive ou affective, des représentations mentales, s'entendent pour appuyer leur description de la genèse précoce des structures psychiques sur un fondement commun essentiel : le corps biologique et son expérience sensori-émotionnelle de la relation au monde ou à l'autre. Le corps est notre seul générateur de corrélations entre externe et interne. Il est l'instrument et l'objet premier non seulement de toute activité précoce d'apprentissage chez l'homme mais aussi de la constitution d'un sujet phénoménologique complexe, biologique, socio-psychologique et sémiotique, défini en codépendance avec son environnement. Grâce aux mécanismes innés de production automatique d'activité sensori-motrice et de représentation mentale liés à sa clôture organisationnelle et à son couplage structurel avec

l'environnement (Varela, 1980, 1989, 1993), il est notre seul moyen d'intégration structurée dans le monde et d'évolution active par extraction de régularités. Il est le seul agent d'autonomisation progressive d'une entité physique en sujet symbolique conscient, à partir de l'interaction avec l'environnement physique et humain dont il est au départ totalement dépendant et indifférencié.

Au-delà de leurs divergences, les psychologues du développement s'accordent pour présenter l'émergence de l'organisme individuel comme sujet à partir de trois grands types de stades ou moments, plus ou moins discontinus. Ces moments ne sont pas sans liens avec le débat actuel entre logico-symbolisme et connexionnisme. Que le sujet considéré soit surtout cognitif (Piaget) ou affectif (Freud) ou socio-affectif et cognitif (Vygotsky, Wallon, Bruner), il semble qu'il suive globalement l'évolution suivante :

- *Période pré-symbolique du schème sensori-moteur*, produit du geste élémentaire intériorisé (Piaget) ou du pulsionnel primaire et de l'évocation associative automatique de souvenirs affectifs inconscients (Freud) : schèmes et affects étant les traces mémorisées des effets associés à la répétition d'actes plus ou moins volontaires et d'événements antérieurs; (mode "enactive" de Bruner). Ce niveau correspondrait à celui des propagations de valeurs dans les réseaux connexionnistes.
- *Période intermédiaire des représentations mentales concrètes*, figuratives et symboliques analogiques, caractérisées par leur degré plus ou moins grand de différenciation entre données intérieures et extérieures et début de l'émergence du sujet comme identité stable différenciée dans l'espace-temps ; (mode "iconic" de Bruner). Ce niveau pourrait correspondre à la configuration finale identifiable des valeurs stabilisées dans un réseau.
- *Période symbolique abstraite d'accès au concept*, au raisonnement logique opératoire et au jugement rationnel du sujet différencié, situé et nommé par le langage et les codes sociaux et distancié des objets de connaissance qu'il se constitue ; (mode "symbolic" de Bruner). Ce niveau correspondrait au traitement des modèles logico-symboliques.

J.S. Bruner, psychologue américain contemporain du développement, apporte une contribution supplémentaire à la thèse de l'enracinement de la connaissance dans le corps. D'orientation fonctionnaliste et pragmatique, il s'est beaucoup intéressé à la médiation de l'apprentissage par le tutorat adulte et au passage de la communication prélinguistique à la communication linguistique chez les jeunes enfants. Il a été amené à fonder l'ontogenèse du langage et l'apprentissage des formes symboliques directement sur la structure générale de l'action socialisée et de l'attention humaines. Il s'oppose ainsi explicitement aux excès du structuralisme formel : aussi bien chez N. Chomsky quand il rattache les universaux du langage à des structures syntaxiques innées que chez J. Piaget quand, oubliant la dimension sociale de l'apprentissage du sujet épistémique, il privilégie le principe d'auto-équilibration et la dimension cognitive individuelle dans l'accès au symbolique.

Partant de l'hypothèse d'une motivation pragmatique des structures de la langue, Bruner postule que "*le langage est un prolongement de l'action en coopération, prolongement spécialisé et conventionnalisé*" (1983, 211). En ce sens, c'est la maîtrise de l'efficacité dans la réalisation en actes de ses objectifs qui apporte d'abord à l'enfant une structure conceptuelle, structure qui se trouve inscrite sous des formes analogues dans la langue qu'il lui faut

apprendre⁷. Pour Bruner : "*Ce qu'il peut y avoir d'inné dans l'acquisition du langage n'est pas une innéité linguistique ; ce sont quelques caractéristiques spécifiques de l'action et de l'attention humaine qui permettent le décodage du langage à partir de ses utilisations*" (1983, 210).

On constate ainsi que le concept de sujet a toujours été central en psychologie développementale parce qu'il offre à l'élaboration de la connaissance et de l'action chez les humains, une instance dynamique d'intégration-différenciation permanente dans le temps, à la fois identifiable, stable et évolutive.

Entité essentiellement relationnelle et toujours en remaniement, dépendant pour sa survie d'un environnement hétérogène, le sujet n'est pas une construction seulement physique et symbolique mais aussi psycho-affective et socio-relationnelle. Si ses automatismes lui permettent de se construire à partir des résultats de sa propre activité sur son environnement, il le fait grâce à la médiation de ses semblables qui lui apportent, dès la naissance, des modèles pratiques et symboliques prêts à l'emploi, et un tutorat pour encadrer les faiblesses de son activité spontanée (Bruner 1983, 1991 ; Bandura, 1980 ; Doise et Mugny, 1978 ; Perret-Clermont, 1986 ; Spitz, 1973 ; Vygotsky, 1933).

Ce sont ces médiations socio-affectives précoces qui offrent le cadre et les structures permanentes de pilotage nécessaires à l'élaboration des formes mentales de la connaissance individuelle : aussi bien pré-symboliques élémentaires, d'origine affectivo-perceptivo-motrice, que symboliques abstraites, codifiées par le langage et les normes sociales. La mémorisation automatique par l'organisme des traces associatives de ses diverses interactions émotionnelles et sensori-motrices fournit la base structurale et fonctionnelle à multiples dimensions (biologique, psycho-affective et socio-relationnelle) et hautement significative "pour soi", des catégorisations, anticipations, stratégies d'action et auto-régulations ultérieures par comparaison entre effets attendus et effets observés, conditions d'accès à l'intelligence et à l'expression sémiotique.

La théorie des jeux de langage de Wittgenstein peut éclairer autrement la différence fondamentale qui sépare les système de règles qui gouvernent l'homme et ceux qui gouvernent la machine.

5. Raison des causes et raison des motifs

Dans sa théorie sur les divers "jeux de langage" qui règlent l'expression de la vie humaine en société, Wittgenstein propose une distinction célèbre entre "raison" et "raison de". Il oppose ainsi le jeu de la causalité physique fondée sur la consécution régulière qui régit le discours du "quelque chose arrive selon des causes", et le jeu de la motivation fondée sur l'intentionnalité qui régit le discours du "quelqu'un fait arriver quelque chose pour des raisons". Dans le premier cas, la causalité est la causalité objective impersonnelle, posée hors acteurs, de la science classique. Dans l'autre cas, c'est la causalité personnelle de l'intention et de la motivation d'un acteur de l'événement et toujours à interpréter en termes de "raison de".

P. Ricoeur reprend cette distinction dans un article remarquable (1990) dans lequel il compare sa démarche herméneutique à la démarche sémiotique de Greimas. Il revient à ce

⁷ Bruner avance, en particulier, l'hypothèse d'un isomorphisme possible entre la forme linguistique de la prédication, avec sa structure universelle de forme topique-commentaire, et la nature du traitement de l'information par l'attention perceptive, "routine d'extraction de caractéristiques" à partir d'un processus d'analyse par synthèse qui consiste à se donner des tous auxquels on peut rapporter des parties et inversement (1983, p. 214).

propos sur le problème ancien des relations entre comprendre et expliquer : non seulement en science, mais aussi au plan de l'action et de son récit ordinaire dans le discours.

Pour l'auteur, la causalité objective de la rationalité classique et de l'"explication" est en contradiction non pas exclusive mais dialectique avec les "raisons de" propres à la compréhension et à la causalité motivante des intentions. Et l'action, lieu par excellence de l'intervention humaine dans le cours des choses, est un modèle mixte d'intentionnalité et de causalité "qui impose de conjointre compréhension et explication". Car nous pouvons dire que nous comprenons une action quand nous sommes capables, à la question "pourquoi ?", de donner une réponse en "parce que", non seulement en termes de "raison" causale mais aussi en termes de "raisons de" intentionnelles de cette action⁸.

Pour Ricoeur, le champ intentionnel des "raisons de" l'action dépasse largement celui de la stricte rationalité : "Recourir à la catégorie "raison de", ce n'est pas nécessairement réduire le champ intentionnel à un modèle de rationalité, qu'elle soit instrumentale, stratégique ou morale. Car même le désir entre dans le champ de la motivation par son caractère de désirabilité, c'est-à-dire par le trait identifiable par d'autres qui permet de dire en tant que quoi quelque chose est désiré par quelqu'un." (*op. cit.*, p. 8). Passer de la raison causale des choses à leur raison motivante, c'est donc passer de l'explication à la compréhension en saisissant le caractère de désirabilité des causes pour des acteurs responsables. "L'explication en termes de "raisons de" est le chemin obligé de la compréhension visant à remonter des résultats objectivés de l'action à son origine dans l'initiative des sujets agissants" (*op. cit.*, p. 8). Expliquer et comprendre ne sont pas en contradiction radicale mais dialectique. Plus encore dans l'action humaine où le "qui" de l'agent est inséparable du "quoi" et du "pourquoi" et où l'explication par raisons se greffe directement sur la compréhension par motifs.

6. La régression infinie de l'intentionnalité cognitive

Dans ces perspectives, la description de l'activité cognitive qui pilote le comportement adaptatif, ne peut se limiter à la fonction strictement logico-rationnelle et conceptuelle de sélection des tâches et de leurs stratégies d'exécution. Elle doit remonter très loin "en amont" dans la compréhension des causes et des raisons qui pilotent l'intentionnalité.

Par exemple, l'exécution de la tâche qui finalise l'activité d'apprentissage présuppose une compréhension qui elle-même présuppose la construction d'une représentation mentale du problème. La compréhension dépend donc du degré d'élaboration du cadre conceptuel qu'on peut construire pour l'appréhender. Et ce degré d'élaboration dépend lui-même du degré de prise de conscience ou de réflexion de la pensée sur elle-même, qui permet d'abord au sujet de se représenter mentalement ses actes en faisant la différence entre le but et l'action, puis de comparer l'effet de ses différentes démarches par rapport aux effets obtenus (N'Guyen Xuan rappelant Piaget, 1990, p. 211).

De même, le cours des tâches peut-il se définir de façon strictement cognitive, par un passage de l'intention à l'action, à partir d'une sélection qui les fait passer du statut de tâche en instance (intentionnelle) à celui de tâche en cours (Richard, 1990b, pp. 217-222). Mais, ainsi que le montre l'auteur, cette définition renvoie au moins à deux autres concepts : l'intention, défini comme sélection orientée d'une tâche et focalisation persistante sur sa réalisation, et la

⁸ Exemple tiré du film "Ben Hur" : la chute calamiteuse sur la tête du consul romain, de la tuile mal fixée au sommet du mur sur lequel Ben Hur se penche pour le voir passer. L'issue de la dialectique entre les causes objectives de la chute de la tuile et les motifs intentionnels attribués à ces causes par le consul est vitale pour Ben Hur : interprété "objectivement" en termes de simple causalité physique, l'incident serait resté sans conséquences ; interprété en termes intentionnels de malveillance, il vaudra les galères au héros et sa transformation en rebelle historique.

décision. Or ces deux concepts ne relèvent plus de la stricte logique cognitive. Dépendants du contexte et de l'état de motivation du sujet, de l'importance de la tâche pour l'individu, de son espérance de succès ainsi que du degré de compétence qu'il se reconnaît, ils relèvent des théories psycho-sociologiques de l'attribution et de la théorie de l'action et renvoient à un sujet global bien plus large que le sujet local de la tâche.

Enfin, le contrôle et la régulation de la tâche comme activité finalisée amènent à reconnaître aussi la nécessité d'un sujet de connaissances métacognitives⁹ multiples : relatives aux personnes (soi-même et les autres), aux caractéristiques des tâches (liées aux caractéristiques des personnes), aux stratégies permettant de gérer le contrôle et la régulation et aux interactions entre les trois premières (Flavell et Wellman, 1977, cités par N'Guyen Xuan, 1990, p. 213).

De proche en proche, les préalables de l'activité cognitive régressent ainsi à l'infini.

Dans sa préface à l'important *Traité de Psychologie Cognitive*, J.F. Richard remarque : *"Adopter le point de vue de la tâche, c'est modifier fondamentalement le statut du sujet : le sujet de la psychologie cognitive a une tâche avec des enjeux, il se donne des objectifs, prend des décisions, en contrôle l'exécution, évalue le résultat de ses actions et modifie en conséquence ses représentations"* (1990, XVII).

Mais alors, et pour suivre C. Bastien : *"On ne peut accorder aux connaissances du sujet un rôle important dans sa représentation du problème sans poser la question de savoir ce que sont ces connaissances, comment elles sont acquises et comment elles se modifient"* (1988, p. 38).

Et qui est ce "sujet" de la connaissance ? Est-il réductible au sujet cognitif de la tâche ? Ces deux questions ramènent au problème général du couple "sujet/objet" qui n'a pas cessé de hanter les débats de la philosophie, de la psychologie en général et du cognitivisme en particulier.

7. Vers un sujet intentionnel de la connaissance et de l'apprentissage

Les apports déjà anciens des psychologies de la genèse et de la phénoménologie semblent converger avec ceux de l'épistémologie et de la neurobiologie pour ramener à la nécessité d'un sujet de l'action et de la connaissance. Ils s'accordent à rappeler qu'il n'existe pas d'apprentissage ni de savoir en soi. La connaissance est toujours la connaissance de quelque chose par et pour quelqu'un. Dans l'action humaine, les raisons de la causalité rationnelle ne s'enchaînent pas dans le vide mais elles sont toujours pilotées par des "raisons de" motivées par un intérêt précis.

Si l'on compare à ces principes ceux de modélisation de la connaissance en IA, le modèle cognitiviste logico-symbolique semblerait ne retenir que l'explication par causes et l'opération abstraite, en négligeant tous les préalables motivationnels, sensori-moteurs, figuratifs et sémiotiques. Le modèle neuromimétique, au contraire, semblerait ne retenir que le fondement pré-symbolique par constitution automatique de schèmes ou configurations associatives élémentaires, en ignorant tout des raisons causales et motivationnelles et des suites symboliques et conceptuelles.

La modélisation actuelle des connaissances est donc soit totalement dépourvue de sujet (connexionnisme), soit fondée sur un sujet de tâche restreint, exclusivement opératoire. La conséquence est que, faute d'une vision organisée à partir d'une instance de la connaissance,

⁹ "La métacognition désigne la connaissance que le sujet a de ses propres connaissances et le contrôle qu'il exerce sur son propre système cognitif" (N'Guyen Xuan, 1990, p. 212).

l'IA se trouve actuellement confrontée à une rupture quasi platonicienne entre dimensions affectivo-sensibles et dimensions intelligibles de l'intelligence et de l'apprentissage humains.

En ce qui nous concerne, il nous paraît impossible, pour une conceptualisation et une modélisation de l'apprentissage adaptatif, d'ignorer l'ensemble des apports rappelés plus haut, même s'ils ne sont pas aisément formalisables.

Dans cette perspective, on ne définira pas l'apprentissage seulement comme une acquisition et une modification d'états ou de structures cognitifs, déterminée par un ensemble ordonné de fonctionnalités et de processus rationnels finalisés par les nécessités causales d'une tâche prédéfinie. On le définira d'abord comme l'acte et la décision d'un sujet intentionnel, situé dans l'espace et le temps, orienté par une motivation et une auto-finalité explicites ou non : sujet aussi bien biologique que conceptuel, affectif que rationnel, inconscient que conscient, en situation interactive avec un environnement autant physique que social et symbolique.

La description objective des conditions, des processus et des contenus conceptuels de l'apprentissage reste nécessaire. Mais tout aussi décisive est la mise en oeuvre de l'intentionnalité, la signification, l'acteur de l'action, du but auto-défini, de la motivation et de la valeur, l'affect, la conscience ou méta-connaissance de son propre état, etc.

Notre hypothèse est que seule une formalisation, même insuffisante des dimensions non conceptuelles de l'apprentissage, fondée sur la description d'un sujet intentionnel et motivé peut permettre d'accéder à des modélisations moins limitées et plus adaptatives de l'acquisition des connaissances.

8. La théorie sémio-narrative de Greimas : une théorie générale de la signification et de l'action humaine

La théorie sémio-narrative de A.J. Greimas (1966, 1970, 1983, 1991) reprend en la systématisant et en l'élargissant de façon considérable, l'analyse fonctionnelle des rôles dans les contes traditionnels proposée par W. Propp dans sa morphologie des contes russes (1970). Elle donne une description formelle dynamique, structurale et générative, des invariants et des mécanismes élémentaires profonds qui sous-tendent la construction narrative de nombreux récits d'action. Mais elle appuie cette description sur une théorie plus vaste, également formelle et dynamique, de la signification en général.

La conjonction des deux formalisations aboutit à une construction exceptionnellement ample et précise qui propose une théorie pour un sujet de la signification. Fondé sur la production de significations et sur une action intentionnelle motivée, ce sujet s'anime dans un contexte social réaliste de type "polémico-contractuel" au sein d'un espace-temps sémiotique repéré, à visée plus ou moins explicite d'apprentissage.

Selon les termes mêmes de l'auteur, la théorie sémio-narrative est, en fait, une "méta-théorie" de l'acte de signification et de la "communication participative" en général. Elle se place en amont des réalisations langagières et à côté de la linguistique. L'auteur la conçoit, en fait, comme une véritable théorie du monde naturel¹⁰.

D'un point de vue épistémologique, on peut la considérer comme un modèle "mixte" au sens de G. Tiberghien : mixte en ce qu'il "*tente de décrire simultanément la structure et les lois de fonctionnement des objets étudiés*" (Tiberghien, 1988, p. 18).

¹⁰ *Du Sens*, Seuil, 1970, p. 19 et sq.

Cette théorie offre un mélange très particulier de rigueur formelle et de réalisme robuste, qui tient sans doute au corpus de contes dont elle est abstraite, ces contes étant autant de leçons de bon sens, hérités de la sagesse universelle, et d'apprentissage pratique de la vie en société. Le choix est délibéré de la part de l'auteur qui considère que ce corpus : "... constitue une sorte de garantie quant à l'universalité des formes narratives"¹¹.

Dans ce cadre, la signification n'est pas une information donnée, c'est un processus de connaissance. Elle résulte d'une activité orientée de découpage de classes d'opposition et d'enchaînements d'actions, de la part d'acteurs-sujets motivés par un mobile et engagés dans une situation sociale de "communication participative". Elle se définit comme un ensemble d'opérations de mise en formes (relativement indifférente à la spécificité des contenus de surface) et de transformation de ces formes. Mais elle n'est pas réduite pour autant à un formalisme vide. "*Le sens ne signifie pas seulement ce que les mots veulent bien nous dire, il est aussi une direction, c'est-à-dire, dans le langage des philosophes, une intentionnalité et une finalité*". C'est un "*procès d'actualisation orienté*" qui présuppose "*un système ou un programme virtuel ou réalisé*"¹².

9. Le modèle actantiel

Pour opérationnaliser la théorie, le modèle actantiel rapporte l'immense variété des récits de contes populaires à un seul "*schéma narratif*" élémentaire. Ce schéma fondamental repose sur l'axe sémantique formé par l'opposition minimale binaire entre états contraires du monde que sont, par exemple, l'équilibre et la perte d'équilibre.

Cette opposition sémique de base est développée en une structure de signification à quatre sommets (de type carré logique) liés par les opérations de disjonction, négation et implication. Ce carré logique est valable aussi bien pour la description de la signification élémentaire (lecture statique non ordonnée du carré) que du scénario canonique de base (lecture dynamisée par un parcours ordonné des sommets).

Le scénario canonique peut se résumer de la façon suivante: un état équilibré d'opposition, à valeur positive, est affirmé par disjonction (bon/mauvais par exemple) ; il est nié par quelqu'un ou quelque chose (non bon) ; il s'ensuit une perte (mauvais) qu'il s'agit pour quelqu'un d'autre de nier à son tour (non mauvais) par un déploiement d'actions adaptées en vue d'obtenir la restauration du bon par implication (non mauvais → bon).

C'est ce schéma de base (perte négative/restauration positive) qui organise l'essentiel des relations entre partenaires, selon leurs rôles dans le scénario de base.

Tous les partenaires du scénario (qu'ils soient humains ou non, sujets ou objets) sont des actants, êtres théoriques abstraits qui habitent l'univers sémiotique sous-jacent au récit de surface. Ils se définissent par leur rôle dans le scénario de base et leurs modalités intentionnelles et affectives d'"être" et de "faire". Ces rôles sont en fait des méta-rôles formels définis par la sphère d'action ou fonction "actantielle" de chacun dans l'univers théorique du récit.

Les six rôles actantiels sont définis par opposition deux à deux sur trois axes fondamentaux de la relation humaine et forment une taxinomie d'une grande économie.

- *l'axe de la quête* d'objets désirables, mobile primordial, définit l'opposition de rôles *Sujet/Objet*,

¹¹ *Langages*, n° 31, p. 17.

¹² *Op. cit.*, p. 15-16.

- *l'axe de la communication ou du transfert* spatio-temporel des objets entre sujets, définit l'opposition *Destinateur/Destinataire*,
- *l'axe du vouloir agir, de soi-même ou de l'autre*, coopératif ou antagoniste, définit l'opposition *Adjuvant/Opposant*.

DESTINATEUR ----- OBJET -----> DESTINATAIRE

ADJUVANT -----> SUJET <----- OPPOSANT

Modèle actantiel, Greimas, *Sémantique Structurale*, 1966

Les actants-sujets peuvent être des humains ou tout être susceptible d'être en quête d'objets selon la pulsion fondamentale d'appropriation qui anime les êtres vivants. Ils sont définis par deux états possibles de jonction avec les objets :

- la possession ou *conjonction avec l'objet*, à valeur généralement positive,
- la non-possession ou *disjonction de l'objet*, à valeur généralement négative.

Dans INTERACTOR, les apprenants doivent savoir qu'ils sont disjoints d'un objet désirable de connaissance pour accepter le contrat d'apprentissage.

Tout sujet peut se décrire comme l'union de deux sujets en interdépendance :

- le *sujet d'état*, description statique des caractéristiques de l'actant à un moment donné. C'est le bilan de tous ses états de jonction (conjonction et disjonction) avec tous ses objets de valeur et ses objets modaux ;
- le *sujet de faire*, description dynamique du sujet à partir des opérations de transformation qu'il applique aux objets, à lui-même et aux autres sujets, en vue d'acquérir les objets désirés (ou d'éviter les objets non désirés).

Les opérations de transformation du faire de chacun modifient constamment son être (ou état), dans un contexte général de relations polémico-contractuelles (alliance et/ou conflit) avec les autres partenaires.

Les différents rôles actantiels se définissent comme suit :

- *Le Destinateur ou Mandataire ou Manipulateur* est l'autorité sociale légitime qui envoie le héros en quête de l'objet à retrouver, le charge de la liquidation du manque à travers les épreuves et lui accorde la sanction de la reconnaissance officielle en fin de parcours¹³.
- *Les Destinataires* sont ceux qui sont envoyés par le mandataire et qui, après avoir accepté le contrat initial, doivent le mener jusqu'à sa bonne conclusion¹⁴.

¹³ Dans INTERACTOR, le Destinateur correspond au formateur. Ce dernier peut, selon les valeurs modales initiales qu'il reçoit, représenter deux types opposés : soit le type positif, "Bienveillant-Compétent", soit au contraire le type négatif, "Malveillant-Incompétent".

¹⁴ Dans INTERACTOR, ce sont les apprenants qui se trouvent dans des états initiaux très divers d'acceptation du contrat initial.

- *Les Adjuvants et Opposants* : ce sont les autres, sujets ou objets, qui facilitent ou font obstacle à l'action des sujets. Dans les contes, ce sont les fées et sorcières, anti-héros, philtres et anneaux magiques ; en formation, ce sont les bons et mauvais collègues, trucs et recettes, imprévus et malheurs divers.

Les actants-objets peuvent être n'importe quel objet (humain ou non, réel ou imaginaire) susceptible d'être désiré ou recherché comme objet de quête par les sujets.

Il y a deux sortes d'objets de quête :

- *les objets de valeur* : tous les objets habituels du désir de possession (sexe, argent, pouvoir, beaux objets...). Ce sont ces objets qui sont directement visés par les sujets dans leur performance¹⁵.
- *les objets modaux* qui sont eux-mêmes de deux sortes : *les modaux intentionnels* (vouloir/devoir/savoir/pouvoir/croire, qui modifient l'attitude et donc le sens de l'être et du faire cognitif des sujets) ; *les modaux affectifs ou "pathiques"* (plaisir/confiance en soi/confiance en l'autre/vouloir faire¹⁶ de type psycho-affectifs et socio-relationnels) (Greimas, 1991).

Les modaux intentionnels sont essentiels ; ce sont eux qui définissent la compétence du faire des actants-sujets sous ses différents aspects. Ils sont indispensables à l'acquisition des objets de valeur mais ne sont pas eux-mêmes directement objets de valeur.

Chaque actant-sujet est ainsi identifié par son rôle actantiel et par l'ensemble de ses descripteurs modaux de compétence, intentionnels et affectifs, par rapport aux thèmes fondamentaux de la perte/restauration et de la quête d'objet.

Poussés par la logique de la quête, les destinataires sont amenés à s'engager dans un *parcours canonique en quatre étapes*. A chaque étape correspond un programme narratif et des épreuves spécifiques dont les résultats modifient le *statut actantiel* du sujet (de Virtuel à Qualifié à Réalisé à Reconnu).

1 - *Le contrat initial* : l'état de vouloir faire et/ou de devoir du Destinataire (apprenant) amène ce dernier à accepter ou non l'engagement de rétablir l'équilibre proposé par le Destinateur (formateur). S'il accepte, il devient *Sujet Virtuel*, qui doit et qui veut faire.

2 - *L'acquisition de la compétence par l'épreuve qualifiante* : son état de savoir et de pouvoir faire fait accéder ou non le sujet au statut de *Sujet Qualifié* ou Actualisé, qui a acquis les modaux nécessaires à la performance ultérieure, le savoir et le pouvoir faire.

3 - *La preuve par la performance ou épreuve principale* : son faire-être effectif (sa performance), réussi ou non, donne ou non au sujet le statut de *Sujet Réalisé*.

4 - *La sanction ou épreuve glorifiante* : le Destinateur donne une appréciation publique de la performance du destinataire, qui acquiert ainsi un savoir et un croire-pouvoir-faire qui le transforme en *Sujet Reconnu* compétent ou Glorifié.

¹⁵ Dans INTERACTOR, les objets de valeur sont théoriquement des objets relatifs à la connaissance. Mais ils peuvent être aussi bien des objets relatifs à la séduction. D'où des contradictions et des conflits possibles chez le même sujet et entre sujets.

¹⁶ Ces modaux sont inspirés de Greimas mais propres à INTERACTOR. Ils jouent un rôle important de supports de propagation pour les valeurs positives ou négatives associées aux interactions entre sujets. Ils décrivent la "valeur affective ajoutée", positive ou négative, qui accompagne chaque action ou décision individuelle, chaque acquisition ou perte d'objet désirable, chaque interaction agréable-utile ou désagréable-inutile avec un autre partenaire.

Avec le modèle actantiel, Greimas définit donc tout ensemble un paradigme d'actants, une trame syntaxique pour leurs modes de relations et les bases d'un scénario prototypique pour leur mise en récit et en mémoire.

Replacé dans le cadre de la théorie sémio-narrative, ce modèle propose l'intégration exceptionnelle de dimensions jusqu'ici largement étrangères. Sur une formalisation de type logique, il articule une définition sémiotique de la signification, elle-même fondée sur une motivation psychosociologique d'actions et sur une circulation de valeurs affectives produites par des acteurs en contexte jouant des rôles en situation bien définie. Il offre en fait une véritable formalisation de la genèse de l'action, de la communication et de l'apprentissage humains¹⁷.

10. INTERACTOR : une simulation actantielle du sujet intentionnel en situation d'apprentissage

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet d'une simulation du sujet intentionnel de la connaissance et de la décision d'apprendre appelé INTERACTOR.

INTERACTOR propose la modélisation sur ordinateur, visuelle et interactive, d'un sujet de la connaissance à partir des préalables non conceptuels, qui déterminent "en amont" la mise en oeuvre de l'activité cognitive chez des apprenants en situation de tâche. Elle vise à rendre quasi expérimentale la multiplicité des déterminants non cognitifs de l'activité cognitive et la complexité des interactions qui se jouent à cette occasion entre partenaires.

Du point de vue théorique, la formalisation du modèle s'appuie sur la théorie sémio-narrative de A.J. Greimas. Elle lui emprunte sa définition dynamique de la signification, logico-structurale et générative, ainsi que les principaux concepts et la syntaxe narrative de sa modélisation actantielle. On fait l'hypothèse que ce modèle, qui semble avoir intégré par le biais des fonctions narratives une bonne part des apports de la psychologie du développement, de l'épistémologie du discours et de la neurobiologie de la conscience évoqués plus haut, peut rendre correctement compte de l'organisation d'une activité intentionnelle. Et il semble répondre à la plupart des besoins de formalisation de l'action d'un sujet élémentaire de la connaissance en situation d'interaction avec ses semblables.

¹⁷ D'une part, le modèle actantiel possède toutes les caractéristiques formelles nécessaires au fonctionnement d'un automate logico-symbolique : une morphologie structurale (les rôles actantiels), une syntaxe (le parcours canonique), une sémantique (les modaux d'être et de faire) et des procédures formelles explicites de production (les opérateurs logiques d'affirmation, négation et implication et les opérateurs pragmatiques de conjonction et disjonction entre sujets et objets).

Du point de vue épistémologique, elle se réfère aux conceptualisations actuelles de la complexité, de l'auto-organisation et de la coévolution¹⁸.

Du point de vue pratique, on transpose le schéma actantiel du récit et on l'applique à une situation de formation regroupant sept personnes (six apprenants et un formateur).

Dans ce cadre, la situation de formation se décrit comme suit. Des actants-sujets (formateurs et apprenants) définis par leur motivation à donner ou chercher à acquérir des objets plus ou moins désirables (les connaissances socialement légitimées) sont amenés, à la suite d'un événement déclencheur (le stage de formation), à s'engager (par contrat) dans des décisions et des actions intentionnelles (les épreuves), selon des rôles définis par leur position sociale. Ces sujets entrent en interaction à la fois contractuelle et polémique avec d'autres sujets poursuivant ou non les mêmes objets selon un parcours défini par le scénario canonique. Chacun remplit son rôle et détermine ses actions selon deux types de modalités qui varient au cours de ses interactions avec ses partenaires : ses modalités intentionnelles (devoir, vouloir, savoir, pouvoir et croire) et ses modalités pathiques à valeur positive et négative (plaisir/déplaisir, confiance/méfiance, bienveillance/malveillance).

Le scénario canonique débute par le constat initial (ou le refus de constat) de la part des sujets-apprenants d'un état négatif de déséquilibre (manque des connaissances souhaitées) qui les amène à accepter ou non le contrat initial d'acquisition. Ce contrat oblige les sujets à s'engager de façon plus ou moins volontaire dans un parcours semé d'épreuves pour se procurer les connaissances manquantes. Ceci les contraint, en chemin, à se rendre compétents en vue d'être efficaces (performants) dans leurs entreprises. Les sujets sont très stéréotypés au départ et définis par seules leurs valeurs intentionnelles initiales (cognitives et affectives). Mais ils évoluent et se construisent progressivement à partir de leurs interactions avec leurs partenaires, par un processus permanent de production réciproque entre états acquis et actions de transformation. Ceci les amène à des comportements finaux fortement différenciés qui ne sont que le résultat cumulé de leurs interactions cognitives et pathiques.

¹⁸ A première vue, on pourra relever une contradiction entre ces deux affirmations. On sait, en effet, que les théories de l'auto-organisation se sont définies, pour la plupart, en opposition à l'hégémonie logico-symbolique et structuraliste des écoles linguistiques, ethnologiques et cognitivistes américaines et européennes des décennies précédentes: contre l'école française en particulier, dont A.J. Greimas a été l'un des plus brillants représentants avec Levi-Strauss et R. Barthes dans sa période sémiologique, entre autres... On connaît les limites du structuralisme au sens strict qui ont entraîné son déclin en tant que paradigme : primat du formalisme menant à des systèmes d'abstractions hyper-réductionnistes par évacuation des dimensions physiques, psychologiques, sociologiques et historiques des phénomènes ; prétention à l'explication universelle ; ésotérisme des codages et prédominance de l'analyse synchronique lié à une morpho-syntaxe rigide peu ouverte au changement. Comment se fait-il que le modèle actantiel de Greimas évite largement de tomber dans ces pièges, en dépit de son haut niveau d'abstraction ? Notre hypothèse est que cela est dû à son respect de la nature fortement narrative, donc événementielle, diachronique, actée et incarnée, propre au corpus de récits populaires qui lui a servi de base. L'auteur le souligne lui-même. Réduit à une séquence d'épreuves actantielles qui anthropomorphise les significations, le récit canonique se présente comme une succession diachronique de comportements humains, mais une succession non neutre qui implique les deux attributs habituels de l'histoire : l'irréversibilité et le choix (Greimas, 1966, p. 211). Le récit joue donc un rôle important de "médiation" dans les relations entre homme et monde: ceci en raison du grand nombre de contradictions qu'il peut contenir tout en donnant, par sa dimension transformationnelle, une impression d'équilibration et de neutralisation possible de ces contradictions. Organisateur à la fois des formes contradictoires de valeurs et des résolutions des ces contradictions : "Il est à la fois affirmation d'une permanence et des possibilités de changements, affirmation de l'ordre nécessaire et de la liberté qui brise ou rétablit cet ordre". Le récit joue ainsi un rôle fonctionnel de résolution de conflits par "médiations multiples" : "(...) médiations entre structure et comportement, entre permanence et histoire, entre la société et l'individu" (*op. cit.*, p. 213). Il nous semble qu'un structuralisme aussi compréhensif n'est plus très loin, par sa complexité dynamique et dialectique, du paradigme interactionniste et auto-organisationnel actuel.

Le modèle actantiel fait apparaître de très nombreuses analogies (structurales et fonctionnelles) entre la situation des héros de contes traditionnels et celle de l'apprenant dans une situation prototypique de formation.

Similitude du contrat initial qui les amène à agir, en partant du constat du manque pour arriver à son rétablissement final. Similitude du parcours orienté de sujets amenés à se réaliser en réussissant leur performance selon les quatre étapes de l'instauration, de la qualification, de la réalisation et de la reconnaissance. Similitude de la série d'épreuves et d'acquisitions progressives mettant en jeu des modalités d'action et des compétences diverses au cours de relations polémico-contractuelles avec des tiers de rencontre jouant chacun un rôle bien précis d'aide ou d'opposition. Similitude de la sanction finale qui reconnaît la réalisation du contrat initial et certifie socialement la valeur de la compétence acquise. Seules la dimension imaginaire héroïque et l'idéalisation mythique de l'aventure et de l'imprévu marquent la différence du conte face à la banalité du réel quotidien.

La description actantielle de l'apprentissage devient ainsi le récit particulier des états (l'être) et des transformations dynamiques d'états (le faire) au cours d'événements évoluant dans le temps, de personnages en interaction tenant des rôles précis dans une situation de quête bien définie¹⁹.

Comment, pourquoi, un sujet décide-t-il de mettre ou non en oeuvre sa compétence dans une performance risquée, au prix certain d'une dépense d'énergie, au risque de perturbations cognitives et/ou psychiques et dans l'attente incertaine de gains non garantis, souvent différés ? Les réponses à ces questions ne sont pas directes. Elles se déterminent

¹⁹ Dans INTERACTOR, les apprenants et le formateur se trouvent d'emblée en situation polémico-contractuelle d'interaction collective à propos d'un double objet: l'objet de connaissance (explicite) et l'objet de séduction (implicite). Le formateur, représentant légitime de la société organisée, est supposé se comporter en Destinateur (ou Mandataire ou Manipulateur) bienveillant et compétent (qui veut et peut bien faire). Il est dans son rôle de proposer aux apprenants (les destinataires) un contrat initial d'assistance à l'acquisition des connaissances, des épreuves qualifiantes pour les rendre compétents et capables de réussir leur performance et une sanction ou reconnaissance finale en conclusion de parcours. Mais il peut être aussi incompetent/malveillant, selon l'état initial de ses modaux intentionnels et "pathiques". De même, les apprenants, après constat préalable de leur insuffisance et de leur manque de connaissances (état de déséquilibre), sont supposés accepter le contrat de quête de connaissance proposé par le formateur (vouloir/devoir) et accomplir à l'occasion des épreuves proposées, une série de performances (faire-être) liées à des compétences acquises ou à acquérir (le savoir/pouvoir faire). La sanction finale par le formateur marque la reconnaissance sociale du résultat des épreuves et l'intégration du "faire" de chacun en un nouvel état (ou "être") publiquement reconnu de compétence (ou d'incompétence). Mais les apprenants réagiront à ces diverses attentes selon leur état modal initial et selon les résultats des interactions courantes avec le formateur et avec leurs pairs. Comme dans le modèle de Greimas, chaque actant-sujet est spécifié par *une intentionnalité propre* selon les cinq prédicats modaux d'attitude: vouloir, devoir, savoir, pouvoir et croire. Chacun est aussi doté d'*une affectivité propre* selon quatre modaux affectifs ou "pathiques", abordés mais non développés par Greimas : plaisir, confiance en soi, confiance en l'autre, vouloir-faire. La quantification généralisée des modaux d'attitude cognitive et affective par des valeurs de 0 à 1 n'est pas dans Greimas. Elle a été ajoutée en vue d'associer aux règles logiques classiques une propagation permanente de valeurs qui affecte à chaque instant les interactions et l'état modal de chaque sujet. L'ensemble de ces valeurs modales détermine pour chacun, à partir de certains seuils de valeurs, des bascules de décision pour l'action suivante ainsi que sa conduite finale d'apprentissage.

indirectement à partir de la configuration de niveaux des états modaux de chaque actant-sujet et des propagations de valeurs suscitées par ses interactions avec ses partenaires²⁰.

11. La couche manquante des automates rationnels

Certaines difficultés rencontrées par la modélisation de la cognition en psychologie cognitive et en Intelligence Artificielle tiendraient-elles moins aux limites des modes de formalisation qu'aux limites de la théorisation sur l'action humaine ? Le constat de Klahr (1985) pourrait le faire penser quand il souligne la non pertinence persistante des variables purement cognitives pour la prédiction de la diversité des comportements individuels en situations équivalentes mais différentes d'apprentissage : "*Les variables structurelles seules ne sont pas la cause directe du comportement ; elles sont médiatisées par des processus sous-jacents*" (cité par Bastien, 1988, p. 36).

Le modèle actantiel peut offrir un début de réponse à ce besoin de structuration sous-jacente. La signification y est traitée comme processus fondamental d'orientation de l'action humaine et les modaux intentionnels sont des éléments essentiels du processus de décision qui oriente l'activité cognitive. Ils renvoient aux "attitudes propositionnelles" rejetées autrefois par B. Russel comme ombres non-logiques de la logique mathématique et reprises depuis comme déterminantes pour la logique naturelle dans ses liens avec l'action et la communication (Grice, 1989 ; Grize, 1987 ; Dan Sperber et Wilson ; Richard, 1987)²¹. Ils éclairent en quoi les conditions de l'apprentissage sont fondamentalement différentes pour l'homme et pour la machine.

Chez l'homme, sujet vivant sensible inscrit activement dans un espace-temps biologique, psychologique et social, toute situation et toute relation sont d'emblée significatives parce qu'elles sont immédiatement associées à des intérêts fondamentaux de survie, de bien-être et de satisfaction. Toute mise en oeuvre d'un apprentissage volontaire s'inscrit dans ce contexte et présuppose une décision individuelle préalable d'orientation et de pilotage intentionnel et motivé de l'action. Plus encore s'il s'agit d'un apprentissage adaptatif qui implique de la part de l'organisme un effort d'auto-modification profonde de son répertoire de structures acquises.

²⁰ Dans INTERACTOR, tous les modaux sont affectés de valeurs quantifiées, de 0 à 1, qui varient constamment selon les interactions et les influencent en retour. Un bilan de parcours est calculé en fin de chaque étape pour chaque sujet ainsi qu'en fin de parcours total. C'est ce bilan final de ses valeurs modales qui détermine pour chaque sujet sa décision ultime d'apprentissage. Quatre configurations finales d'états modaux déterminent 4 conduites possibles d'apprentissage : a) *l'apprentissage effectif*, défini par des croire/vouloir/pouvoir/savoir positifs associés à la volonté et la capacité de poursuivre sa quête vers d'autres objets de connaissance et à une confiance accrue en soi-même et en les autres (vouloir-faire positif) ; b) *la révolte ou l'attaque/fuite*, définie par un non croire/non vouloir/non pouvoir apprendre, associée à une malveillance et une méfiance (vouloir-faire négatif) accrues envers les pairs et les représentants de la légitimité sociale ainsi qu'à une probabilité plus grande de refus du prochain contrat ; c) *la résignation-repli* ou fixation dans un état apathique indéterminé de non-engagement, non-action, non-sentiment, non-interaction avec quiconque. Cet état correspond à une mort symbolique provisoire du sujet ; d) *l'indécision*, état d'indétermination défini par une valeur trop moyenne des états modaux et pathiques du sujet pour entraîner un état décisif clair : cet état ne demande qu'à basculer dans un sens ou dans l'autre à la première occasion.

²¹ "La logique naturelle est à la fois une logique de l'action, une logique de la vérification et une logique de la déduction, mais la déduction est subordonnée à la vérification et la vérification est subordonnée à la réussite de l'action. (...) Ce caractère constructif du raisonnement naturel tient à mon avis à ce qu'il est enraciné dans l'action: le raisonnement de base est celui qui permet de réaliser des objectifs d'action. Ce primat de la construction sur la déduction tient aux exigences de l'action, au primat de la réussite sur la compréhension". J.F. Richard, "Le vrai et le faux dans les conduites de recherche et de vérification", *Intellectica*, vol 1, n° 4, 1987.

Pour les automates actuels au contraire, l'absence totale de pertinence de la signification et des valeurs de l'action (socio-affectives, pragmatiques et éthiques) dans leur traitement formel est un principe fondateur. N'ayant ni besoins ni désirs, ils ne manquent de rien, et ne manquant de rien, ils n'attendent ni n'anticipent rien. N'étant pilotés ni par la stricte causalité physique des robots industriels ni par les motivations des sujets humains, ils n'ont, de fait, ni les moyens de, ni intérêt à s'auto-modifier pour apprendre de manière adaptative et prospective.

L'apprentissage des automates strictement rationnels se trouve, pour cette raison même, réduit à la seule adaptation aux buts immédiats de la tâche et à une stratégie étroite de calculs fins-moyens ou d'équilibrage de valeurs. La restauration de l'équilibre par l'accès à la solution correcte restant sans incidence sur leur fonctionnement et leurs finalités, les mécanismes de régulation par feedback et par comparaisons entre effets attendus et effets observés perdent une grande part de leur efficacité auto-correctrice et organisatrice.

La théorie sémio-narrative permet de saisir plus finement la nature de la couche manquante d'éléments pré-cognitifs dans les modèles cognitifs actuels. Elle montre que c'est la logique de la signification et de l'action intentionnelle motivée qui fait défaut, logique qui s'exprime par des calculs différents mais tout aussi rigoureux que ceux de la logique rationnelle. Elle explique aussi pourquoi une intelligence seulement rationnelle n'est qu'une demi-intelligence : parce qu'elle est auto-suffisante.

Une méta-couche supplémentaire de signification et de valeurs, d'affects et d'intérêts unifiés dans un contexte d'action contextualisée et motivée semble donc nécessaire aux modélisations actuelles de l'intelligence pour qu'elles deviennent moins incomplètes. Les récentes propositions pour un "paradigme alternatif", celui du constructivisme ontogénétique envisagé par J. Stewart (1993), ou celui de l'enaction proposé par F. Varela (1993) semblent apporter des réponses directes à la question.

Gaston Bachelard constatait il y a longtemps déjà : "On n'explique pas la pensée en faisant l'inventaire de ses acquisitions. Une force la parcourt, dont il faut rendre compte" (*Essai sur la connaissance approchée*, 1928).

Références bibliographiques

- ANDLER D. (sous dir.), 1992 : *Introduction aux Sciences cognitives*, Paris, Gallimard.
- ATLAN H., 1979 : *Entre le cristal et la fumée : essai sur l'organisation du vivant*, Paris, Seuil.
- BANDURA A., 1980 : *L'apprentissage social*, trad. fcse, Bruxelles, Mardaga.
- BASTIEN C., 1988 : "Les modèles de résolution de problème", in *Psychologie Cognitive : modèles et méthodes*, Grenoble, PUG.
- BRUNER J.S., 1983 : *Savoir dire, savoir faire : le développement de l'enfant*, trad. fcse, Paris, PUF.
- BRUNER J.S., 1991 : ... *Car la culture donne forme à l'esprit : de la révolution cognitive à la psychologie culturelle*, 1990, trad. fcse, Paris, Eshel.
- COURTES J., 1976 : *Introduction à la sémiotique narrative et discursive*, Paris, Hachette.
- COURTES J., 1986 : *Le conte populaire : poétique et mythologie*, Paris, PUF.
- DENHIÈRE G., 1990 : "Compréhension et construction de représentations", in J.F. Richard, C. Bonnet, R.Ghiglione (eds), *Traité de Psychologie cognitive*, t. 2, Paris, Dunod.
- DOISE W., DESCHAMPS J.C., MUGNY G., 1978 : *Psychologie sociale expérimentale*, Paris, A. Colin.
- ECO U., 1984 : *Sémiotique et philosophie du langage*, trad. fcse, PUF, Paris.

- EDELMAN G.M, 1992 : *Biologie de la conscience*, trad. fcse, Paris, Ed. O.Jacob.
- EVERAERT-DESMEDT N., 1988 : *Sémiotique du récit*, Bruxelles, De Boeck université.
- GEORGE C., 1983 : *Apprendre par l'action*, Paris, PUF.
- GREIMAS A.J., 1966 : *Sémantique structurale*, Paris, Seuil.
- GREIMAS A.J., 1970 (t. 1), 1983 (t. 2) : *Du Sens : essais sémiotiques*, Paris, Seuil.
- GREIMAS A.J., COURTES J., 1979, 1986 : *Sémiotique : dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, Paris, Hachette.
- GREIMAS A.J., FONTANILLE J., 1991 : *Sémiotique des passions, des états de choses aux états d'âme*, Paris, Seuil.
- GRICE H.P., 1989 : *Studies in the ways of words*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- GRIZE J.B, 1987 : "Logique naturelle et vraisemblance", *Intellectica*, vol. 1, n° 4.
- HENAUULT A., 1983 : *Narratologie, Sémiotique générale*, Paris, PUF.
- IMBERT C., 1987 : "Entre logique naturelle et intelligence artificielle", *Intellectica*, vol. 1.
- LEMOIGNE J.L., 1990 : *La modélisation des systèmes complexes*, Paris, Dunod-AFCET.
- LEVY P., 1990 : *Les technologies de l'intelligence*, Paris, La Découverte.
- LINARD M., 1990 : *Des machines et des hommes*, Paris, Editions Universitaires.
- LINDSAY P.H., NORMAN D.A., 1980 : *Traitement de l'information et comportement humain : introduction à la psychologie cognitive*, Montréal, Québec, Etudes Vivantes.
- MATURANA H., VARELA F., 1980 : *Autopoiesis and Cognition : The Realization of the Living*, Boston Studies in the Philosophy of Science, t. XLII, Boston, D. Reidel.
- MEAD G.H., 1934 : *Mind, self and society*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- MORIN E., 1973 : *Le paradigme perdu : la nature humaine*, Paris, Seuil.
- MORIN E., 1977 : *La Méthode : La vie de la vie*, Paris, Seuil.
- MORIN E., 1980 : *La Méthode : La nature de la nature*, Paris, Seuil.
- MORIN E., 1986 : *La connaissance de la connaissance : anthropologie de la connaissance*, Paris, Seuil.
- NGUYEN-XUAN A., 1990 : "Conscience, prise de conscience et métacognition", in *Traité de Psychologie Cognitive 2*, pp. 208-216.
- NGUYEN-XUAN A., GRUMBACH A., 1988 : "Modèles informatiques de processus d'acquisition", in *Psychologie Cognitive : modèles et méthodes*, Grenoble, PUG.
- PIAGET J., 1937 : *La construction du réel chez l'enfant*, Genève, Delachaux Niestlé.
- PIAGET J., 1945 : *La formation du symbole chez l'enfant*, Genève, Delachaux Niestlé.
- PIAGET J., 1971 : "Inconscient cognitif et inconscient affectif", Conference at the American Psychoanalytic Association, 28th dec. 1970, trad. fcse, *Raison Présente*, n° 19, juillet / août / septembre.
- PERRET-CLERMONT A.N., 1978 : *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*, Neuchâtel, Delachaux-Niestlé.
- PEIRCE C.S., 1930 : *Textes fondamentaux de sémiotique*, 1930, trad. fcse, Paris, Klincksieck, 1987.
- PRIBRAM K.H., MERTON M.GILL, 1986 : *Le projet de "psychologie scientifique" de Freud : un nouveau regard*, trad. fcse, Paris, PUF.
- PROPP V., 1928 : *Morphologie du conte*, trad. fcse, Paris, Seuil, 1970.
- RICOEUR P., 1990 : "Entre herméneutique et sémiotique", *Nouveaux Actes Sémiotiques*, Publications Universitaires de Limoges, n° 7.
- RICHARD J.F., 1990 : *Traité de Psychologie Cognitive 2*, Introduction, Paris, Dunod.
- RICHARD J.F., 1987 : " Le vrai et le faux dans les conduites de recherche et de vérification", *Intellectica*, vol. 1, n° 4.
- RICHARD J.F., 1990 : "La sélection des tâches: le passage de l'intention à l'action", *Traité de Psychologie Cognitive 2*, pp. 217-220.

- SARBIN T.G. (ed.), 1986 : *Narrative Psychology : the storied nature of human conduct*, N.Y., Praeger.
- SPERBER D., WILSON D., 1989 : *La Pertinence : communication et cognition*, trad. fcse, Paris, Ed. de Minuit.
- SPITZ R., 1973 : *Le non et le oui : la genèse de la communication humaine*, trad. fcse, Paris, PUF.
- STEWART J., 1993 : "Introduction" à Biologie et Cognition, *Intellectica*, n° 16.
- TIBERGHIE G., 1988 : "Modèles de l'activité cognitive", *Psychologie Cognitive : modèles et méthodes*, Grenoble, PUG.
- VARELA F., 1980 : *Autonomie et connaissance : essai sur le vivant*, trad. fcse, 1989, Paris, Seuil.
- VARELA F., 1989 : *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*, trad. fcse, Paris, Seuil.
- VARELA F., THOMSON E., ROSCH E., 1993 : *L'inscription corporelle de l'esprit : sciences cognitives et expérience humaine*, Paris, Seuil.
- VON FOERSTER H., 1981 : "La construction d'une réalité", in Watzlawick P. (ed.), *L'Invention de la réalité : contributions au constructivisme*, pp. 45-69.
- VYGOTSKY L.S., 1934 : *Pensée et langage*, trad. fcse, Paris, Messidor/Ed. Sociales, 1985.
- WATZLAWICK P., BEAVIN J.H., JACKSON DON D., 1967 : *Une logique de la Communication*, trad. fcse, Paris, Seuil, 1972.
- WATZLAWICK P. (ed.), 1981 : *L'Invention de la réalité : contributions au constructivisme*, trad. fcse, Paris, Seuil, 1988.