

DE L'ACTION A LA PENSEE

Olivier Real del Sarte

DAMPS- CHUV

46 rue du Bugnon

CH-1011 Lausanne

Phone: (41 21) 314.11.11

CERFASY

Beaux Arts 19

CH-2001 Neuchâtel

Phone: (41 38) 24.24.72

E-mail: oreal@bluewin.ch

Wolfgang Schachner

CEPIAG

21 ch. Du Bournoud

CH-1217 Genève

E-mail: wolfgang.schachner@cepiag.ch

Avec la collaboration de G. Cellérier et J.-J. Ducret

Invention du comportement

La cybernétique dont les Sciences Cognitives actuelles sont le prolongement et en quelque sorte l'appellation actualisée, a eu le mérite d'introduire la dimension de finalité, et donc de système axiologique dans le domaine du vivant, mais aussi dans le domaine des artefacts, c'est à dire dans le domaine des machines construites par le vivant. Ceci a eu pour résultat paradoxale de mécaniser le premier domaine et d'animer le second. Nous en voulons pour preuve le titre programme du livre fondateur de [Wiener 48]: "Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine." Au travers des notions de contrôle et de communication dans le vivant et la machine, Wiener montrait son intention de réaliser ce pont. Nous n'avons pas fini de travailler à sa suite... Notre projet s'inscrit dans ce mouvement puisqu'il entend activer les synergies qui nous paraissent exister entre les apports de la robotique, de l'Intelligence Artificielle, de l'éthologie et de la psychologie constructiviste de Piaget.

De quel éclairage va donc pouvoir bénéficier notre thème "de l'action à la pensée" si on le plonge, dans cette perspective, à l'interface de ces différents regards scientifiques? Pour bénéficier des points de vues interdisciplinaires, nous partons d'une définition de l'action en termes de comportement ou de conduite, inspirée des travaux de Cellérier et Piaget. D'un point de vue phylogénétique nous adoptons le postulat que l'invention du comportement par les gènes a été une étape essentielle sur le chemin de la "psychisation". Par cette formule, nous ne voulons pas signifier que les gènes sont les responsables directs du comportement, ils n'en sont que les contrôleurs indirects. Plus l'organisme est complexe, plus son comportement peut suivre des systèmes de valeurs qui ont acquis au cours du développement leur autonomie par rapport aux gènes (sans cela la pilule contraceptive n'aurait jamais été inventée!). Mais, restons un moment sur la considération du comportement: le comportement c'est un système qui prend comme machine d'exécution l'organisme tout entier et qui le déplace de façon molaire dans l'espace et dans le temps. Nous rejoignons en cela Aristote: "un animal est une plante qui a rentré ses racines pour en faire un estomac et qui peut, de ce fait, se déplacer pour aller chercher sa nourriture". Dès lors, la notion de comportement devient coextensive avec les notions d'espace et de temps. Les organisations internes, c'est à dire les systèmes végétatifs ou homéostatiques internes ne disparaissent pas avec le comportement: ils acquièrent un débouché extérieur qui les prolongent. Une plante dont les homéostases internes sont dérégées et qui a besoin d'eau pour rétablir l'équilibre ne peut se déplacer à l'ombre pour diminuer l'évaporation ou aller chercher ce qui lui est nécessaire! Les systèmes

comportementaux instinctifs peuvent être considérés comme le prolongement direct de nos homéostases internes; le comportement fonctionne comme un amplificateur plurifonctionnel de nos régulations internes.

Si le comportement permet le déplacement dans l'espace et dans le temps, l'organisme qui s'y déplace, doit rester inchangé. Restant à la fois constant et adaptable à des situations changeantes, cet organisme va pouvoir être utilisé comme machine d'exécution pour des actions différentes. Sans le comportement, à chaque fois qu'il s'agirait d'exécuter des actions différentes telles que courir, manger, explorer, fuir, etc., il faudrait opérer un changement de ses structures. Avec l'invention du comportement il suffit d'un seul et même organisme pour exécuter des actions différentes.

Le prix à payer (mais est-ce un prix ?!) pour une telle évolution, c'est qu'il n'y a pas un gène qui pourrait commander une action (un schème) avec sa propre machine d'exécution, mais des groupements de gènes, participant, aux côtés d'autres facteurs, au contrôle indirect de nombreux schèmes d'actions, qui doivent se partager comme machine d'exécution un et un seul "corps" (en parlant de contrôle indirect, nous soulignons que nous n'aplatissons pas le schème sur le gène). C'est ce que Mc Culloch a appelé la "redundancy of potential commands". En d'autres termes, un organisme se doit d'exercer, de réaliser plusieurs fonctions qui sont nécessaires à sa bonne adaptation à la niche écologique où il se trouve. Il n'y a pas d'adaptation préétablie organisme/environnement mais co-construction de cette adaptation par l'interaction de l'organisme avec le milieu. Grâce à l'invention du comportement toutes ces fonctions peuvent se réaliser dans une succession hiérarchisée, étalée dans le temps, ce qui implique une organisation en priorités pour l'action. En effet, le comportement n'est possible que s'il y a des priorités hiérarchisées, nous parlerons d'agendas (au sens latin d'agendum: "ce qui doit être exécuté"), organisant et partageant l'espace et le temps d'exécution de l'action (ou des schèmes). Dans cette optique notre définition du comportement devient: un système qui utilise une seule et même machine d'exécution pour une société d'agendas qui peuvent l'exploiter en temps partagé.

Le contrôle du comportement

Cette société d'agendas fonctionne en division du travail. Cette division du travail implique des différenciations verticales et horizontales. Au niveau vertical, nous distinguerons les méta-schèmes, qui gèrent les agendas, leur but est d'atteindre les finalités poursuivies par les agendas en utilisant comme moyens ce que nous appellerons des schèmes exécutants. Par exemple, le méta-schème *M_Manger* a pour schèmes exécutants *E_Crier* et *E_Sucer*. Ces derniers ne se préoccupent pas des finalités liées aux agendas car elles dépassent leur entendement, mais fiabilisent et optimisent les tâches sous leur contrôle. Pour chacun des méta-schèmes existent des alternatives horizontales: manger ou explorer ou fuir... La même chose se produit pour les schèmes exécutants: crier ou sucer ou se déplacer...

Mais comme nous y avons fait allusion précédemment, pour que cette société fonctionne tant verticalement que horizontalement, il s'agit de définir des priorités. Par exemple, "ce qui doit être exécuté" est-ce "Manger", "Fuir" ou encore "Explorer"? C'est à cette question que "répond" la notion de priorité. Chaque agenda possède en effet une priorité relative intrinsèque, et, c'est l'urgence du "ce qui doit être exécuté" qui détermine quel méta-schème est activé. Ces priorités sont au départ (à la naissance) initialisées par l'équipement héréditaire, et tout "transfert motivationnel de contrôle", c'est à dire chaque transfert de contrôle vers le méta-schème le plus motivé à prendre le "pouvoir" car possédant l'agenda le plus prioritaire, n'est donc que le reflet d'une rythmique phylogénétiquement transmise. Le sujet est agi par ses agendas (par ses méta-schèmes). Le renversement, le sujet agissant ses méta-schèmes, s'effectue avec l'apparition des conduites intentionnelles et pré-représentatives du troisième stade sensori-moteur

piagétien. En effet, à ce moment ayant acquis un début d'anticipation, il lui est alors possible d'effectuer des transferts intentionnels-motivationnels de contrôle en modifiant "consciemment" les priorités relatives des agendas et par conséquent en influant sur la séquence d'activation des méta-schémas. Néanmoins, avant d'accéder à ce degré d'autonomie, le sujet devra adapter ses comportements et les majorer afin de passer des organisations réflexes (1er stade sensori-moteur) aux premières habitudes (second stade sensori-moteur) pour finalement atteindre ces conduites intentionnelles et pré-représentatives.

Adaptations des comportements

Abstraction "pseudo-empirique"

L'interaction d'un être vivant avec son milieu engendre inéluctablement une modification de ses comportements. D'une simple adaptation (diverses assimilations et/ou accommodations ou abstractions empiriques, etc.) jusqu'à l'apparition de nouvelles conduites (par assimilations réciproques, abstractions réfléchissantes, etc.), l'étendue des possibles est large. Il ne s'agit pas ici de faire l'inventaire de toutes les possibilités mais de se focaliser sur l'une d'entre elles, l'abstraction "pseudo-empirique", particulièrement pertinente dans le cadre des conduites des trois premiers stades sensori-moteurs que nous nous efforçons de comprendre et de modéliser (le lecteur intéressé par plus de détails au sujet de l'adaptation et de la création de nouveaux schémas par assimilation/accommodation, assimilation réciproque, etc. peut se référer à [Real de Sarte & Schachner 96], [Ducret , Real del Sarte & Schachner 97] et [Schachner, Real del Sarte & León 98]).

L'abstraction "empirique" (appelée aussi abstraction "simple" par Piaget), porte sur les caractéristiques des objets: leur poids, leur couleur ou encore leur dimension peuvent ainsi être isolés et assimilés par différents schémas. L'abstraction "réfléchissante", de son côté, s'intéresse à la coordination des actions du sujet, et sous-tend ainsi la formation de connaissances (structures) logico-mathématiques. Elle est appelée "réfléchissante" car elle "comporte toujours deux aspects inséparables: d'une part, un "réfléchissement", c'est-à-dire la projection (comme par un réflecteur) sur un palier supérieur de ce qui est tiré du palier inférieur [...] et, d'autre part, une "réflexion" en tant qu'acte mental de reconstruction et réorganisation sur le palier supérieur de ce qui est ainsi transféré de l'inférieur." [Piaget 1977, p.303]. Quant à l'abstraction qui nous intéresse directement, l'abstraction "pseudo-empirique", il s'agit d'un cas particulier de l'abstraction "réfléchissante": "lorsque l'objet a été modifié par des actions du sujet et enrichi de propriétés tirées de leurs coordinations (par exemple en ordonnant les éléments d'un ensemble) l'abstraction portant sur ces propriétés est dite "pseudo-empirique", parce que, tout en procédant sur l'objet et sur ses observables actuels, comme dans l'abstraction empirique, les constatations atteignent en réalité des produits de la coordination des actions du sujet" [Piaget 1977, p.303]. Ainsi, l'apparition de conduites pré-représentatives, qui se "crystalliseront" par la suite en conduites représentatives, résulte non seulement des diverses abstractions du "dispositif perceptif", mais aussi d'une intériorisation des actions du sujet, lorsque ce dernier interagit avec son environnement.

Genèse de l'abstraction "pseudo-empirique"

Lorsqu'on adopte une position génétique il n'est pas suffisant de constater un fait intéressant, l'abstraction "pseudo-empirique dans ce cas-ci, encore faut-il pouvoir expliquer sa genèse. Il est clair qu'avant de pouvoir intérioriser des régularités sur les actions portant sur les objets, le sujet doit tout d'abord être capable "d'utiliser" ses actions. Reformulé, cela revient à dire que les méta-schémas doivent dans un premier temps apprendre à utiliser les moyens qui sont sous leur contrôle, avant qu'une séquence précise

d'activation de schèmes exécutants puisse enrichir la notion d'un objet (la catégorie subjective "objet" dans le cadre du troisième stade sensori-moteur).

Deux types d'interactions norment l'utilisation des schèmes exécutants. Le premier est lié au milieu et à l'obligation pour les méta-schèmes d'atteindre le but fixé par l'agenda. Dans ce cas, la meilleure séquence d'utilisation des schèmes exécutants résulte des adaptations successives liées aux différents exercices fonctionnels. Le second type est de nature sociale. Il s'agit de l'imitation qui vise la définition d'un ordonnancement des schèmes exécutants en vue de reproduire une séquence d'actions observées. Elle permet ainsi au sujet de se doter de nouveaux comportements qu'il pourra réutiliser dans son interaction avec le milieu. Pour illustrer l'importance que peut revêtir l'imitation, prenons comme exemple la poule qui n'arrive pas à atteindre la nourriture se trouvant de l'autre côté du grillage. En effet, en essayant d'atteindre les graines par le chemin le plus court, elle bute continuellement contre le grillage. Tout sujet qui n'a pas la conduite du détour va faire de même, qu'il s'agisse d'un bébé ou d'un robot proto-androïde autonomiste. En effet, pour atteindre ce but, la difficulté consiste à ne pas favoriser le court terme, "je m'approche de la nourriture", mais le long terme: "je m'éloigne de la nourriture pour contourner l'obstacle, ce qui va finalement m'amener à elle". Une telle conduite peut bien évidemment être inventée par le sujet. Néanmoins, le processus qui sous-tendrait la construction d'un tel comportement serait long et fastidieux. C'est par conséquent dans de telles circonstances que l'imitation acquiert tout sa valeur ajoutée. En effet, le sujet peut être guidé vers la nourriture par une conduite de détour. Imiter ce comportement revient pour lui, de manière inconsciente à ce stade du développement, à apprendre non seulement que ce n'est pas le court terme qui doit être uniquement favorisé, mais aussi qu'un obstacle peut être contourné. Si ensuite ce résultat est incorporé (par reconstruction majorée) à un méta-schème dont le *sensorium* est un "pré-symbole relié, par un lien de décomposition, à des sous-méta-schèmes" [Schachner, Real del Sarte & León 98], nous obtenons un réfléchissement pré-représentatif qui est alors constitué par "des paliers de reconnaissance, d'utilisations d'indices, d'anticipations, etc. sur lesquels se réfléchissent les actions ou coordinations antérieures"[Piaget 77, p.304].

Objet "to think with and to think through"

Rien ne vaut un objet pour penser "with and through" (pour reprendre les termes de Papert). C'est dans cette optique que le CEPIAG a développé le robot CEPIAG_I; pour mettre "en chair" les concepts énoncés et "défier" la viabilité des efforts de "reconstruction rationnelle" du vivant. Dans ce processus, qui va de la théorie à la simulation et vice et versa, deux points vont être détaillés: l'adaptation au niveau de l'utilisation des schèmes exécutants, et, l'implémentation de l'imitation, qui tous deux participent à l'apparition d'une abstraction "pseudo-empirique".

Adaptation de l'utilisation des schèmes exécutants

Prenons, pour illustrer cette adaptation, un cas très simple: "Manger". Cette organisation réflexive est composée d'un méta-schème *M_Manger* qui a comme but de réduire la faim jusqu'à être rassasié. Il possède deux schèmes exécutants, *E_Pleurer* et *E_Sucer*. La configuration initiale, innée, c'est-à-dire donnée par l'expérimentateur, indique que lorsque *M_Manger* est activé alors *E_Sucer* est prioritaire et doit en premier lieu être déclenché. Comme le bébé robot CEPIAG_I n'est pas autonome, il doit être nourri par sa mère (qui elle est guidée par l'expérimentateur), son interaction avec l'environnement va lui indiquer qu'activer *E_Sucer* en premier est loin d'être optimal (*E_Sucer* ne fait pas venir la mère pour qu'elle le nourrisse); cela a pour effet d'augmenter la faim au lieu de la diminuer. La conséquence sera, après plusieurs cycles d'exercices fonctionnels de *M_Manger*, une inversion de la séquence d'utilisation des schèmes

exécutants. La stratégie adoptée, comme le montre la figure 1, devient alors le déclenchement dans un premier temps de *E_Pleurer*, qui aura comme résultat de “faire apparaître” la nourriture, puis, lorsque cette dernière sera reconnue (par assimilation réognitive) par *E_Sucer* d’activer le programme moteur associé; la succion.

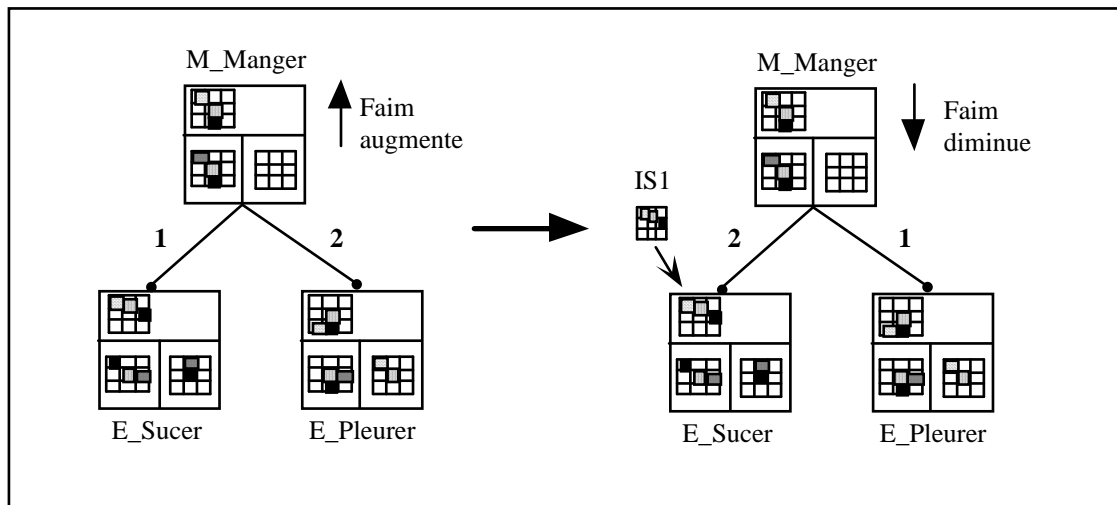


Figure 1

Le passage de la première à la seconde configuration ne s’effectue évidemment pas en une seule fois. Tout d’abord, un certain nombre d’essais sont nécessaires pour inverser la séquence des schèmes d’exécutions. Ensuite, l’assimilation réognitive de *E_Sucer* devra accommoder son impression sensorielle intériorisée pour reconnaître IS1 comme étant de la nourriture et s’activer au bon moment. On constate ainsi une phase transitoire où l’inversion de la séquence a eu lieu mais où *E_Sucer* ne se déclenche pas adéquatement. Le résultat est une oscillation entre *E_Sucer* et *E_Pleurer*. Et, ce n’est que lorsque tous les paramètres ont été assimilés, et donc que l’organisation réflexe a été adaptée en conséquence, que l’on assiste à un début de “cristallisation” de la structure, qui reste néanmoins très précaire. Il suffit, en effet, de changer le comportement de la mère (par exemple faire que la mère soit toujours présente et prévienne la faim du bébé) pour que le tout se remodifie (*E_Sucer* redevient prédominant). Par contre, si le comportement de la mère reste pour un certain temps inchangé, cette “cristallisation” se concrétise et tout changement ultérieure de conduite n’affectera *M_Manger* que dans des cas extraordinaires. En d’autres termes, un méta-schème consolidé est vu par le système comme un investissement à long terme qu’il cherche pour des raisons de stabilité à conserver à tout prix.

Imitation

L’imitation, dans notre simulation d’une construction génétique de l’intelligence, n’est qu’à ses balbutiements. En effet, comme le montre la figure 2, elle ne s’applique qu’aux schèmes exécutants, c’est-à-dire ne modifie que localement, au niveau d’une tâche, la production motrice (ou action). De ce fait, elle ne permet pas une imitation d’une séquence d’actions (comme l’exigerait une conduite de détour par exemple). Pour cela, elle devrait “prendre le contrôle” non pas uniquement, comme c’est le cas actuellement dans la simulation, des schèmes exécutants, mais également des méta-schèmes. En effet, en fédérant un méta-schème, elle inhiberait momentanément l’adaptation direct de ce dernier par rapport au milieu en substituant l’agenda du méta-schème par la finalité qui est la sienne: “la conduite à imiter”. Il en résulterait alors une reconstruction sur un plan supérieur (reconstruction majorée) de l’organisation du méta-schème par intégration du dépassé, l’organisation initiale du méta-schème constitué de lui-même et des schèmes

exécutants sous son contrôle, dans un dépassant, qui inclurait les résultats de la conduite imitée.

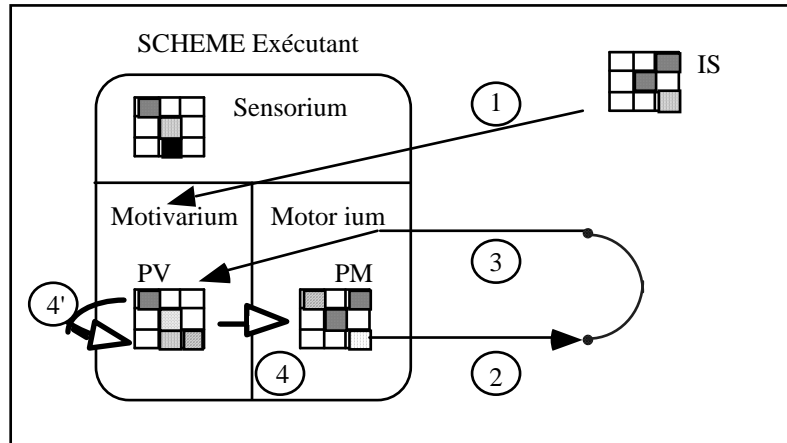


Figure 2

Le mécanisme d'imitation débute, lorsque le *motivarium*, à l'aide de la fonction d'assimilation récongnitive (1), "reconnaît" l'impression sensorielle (le stimuli) IS, qu'elle soit externe, provoquée par un objet par exemple, ou interne, provenant de sensations de faim, proprioceptive, etc. Le *motorium* déclenche alors l'action associée au schème exécutant (2) sur la base de son pattern moteur PM. Ensuite, la fonction d'évaluation du *motivarium* va déterminer, pendant une période veille, la valeur du feedback reçu (3), en la comparant avec le pattern valeur PV intériorisé. Et, sur la base de la qualité des retours en terme de proximité de celle désirée, elle décide des accommodations nécessaires. Ceux-ci peuvent aussi bien porter sur le pattern valeur, c'est-à-dire sur ce qui est anticipé, que sur l'action motrice. Dans ce dernier cas, il s'agit d'adapter le pattern moteur pour que, une fois déclenché, son résultat sur l'environnement (incluant le bébé robot lui-même) reflète celui qui est attendu par le *motivarium* (fonction d'évaluation).

Conclusions

Dans notre tentative pluridisciplinaire d'un "reverse engineering" du vivant, il est apparu que l'invention du comportement "par les gènes" est un point clé de la phylogénèse. En effet, il permet l'utilisation d'une même machine d'exécution pour des actions différentes. Cette nouvelle autonomie, pour qu'elle fonctionne, doit encore être accompagnée d'une organisation en priorité relative des activités à effectuer, ce que nous appelons des agendas (ce qui doit être exécuté). Son but est de contrôler le comportement.

Du point de vue de notre simulation, CEPIAG_I, deux grandes familles de schèmes ont été implémentées; la première est constituée de méta-schèmes, qui sont les administrateurs de notre société de schèmes. Ils sont responsables de la bonne exécution de la finalité de leur agenda et disposent, comme moyens, de schèmes exécutants, notre deuxième famille de schèmes. Si actuellement notre petit robot Lego reste agi par ses agendas (ou méta-schèmes), ce que nous visons, c'est un renversement de l'acte, c'est-à-dire le robot agissant ses méta-schèmes, en modifiant "consciemment" les priorités relatives de ses agendas. Pour en arriver à ce stade (le troisième stade sensori-moteur de Piaget), il s'agira de développer davantage, que ce soit théoriquement ou pratiquement à travers notre simulation, le processus d'abstraction "pseudo-empirique" ainsi que sa genèse. Néanmoins, la chemin est tracé, et un un des constats majeurs c'est que "l'abstraction empirique ne suffit pas à elle seule à rendre compte de l'origine des connaissances empiriques, et encore moins de celle des connaissances logico-mathématiques"[Ducret, Grzeskowiak M. et Perruchoud 97]. En d'autres termes, pour passer de "l'action à la pensée" ou des organisations réflexes aux conduites pré-représentatives, il n'est de loin

pas suffisant de catégoriser les informations sensorielles mais il faut aussi prendre en compte les résultats de l'action; dimension trop souvent omise en intelligence artificielle.

Bibliographie

Ducret J.-J., Grzeskowiak M. et Perruchoud A., *Jean Piaget. Cheminements dans l'oeuvre scientifique*. Cédérom produit par la faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'université de Genève et par le Service de la recherche en éducation de l'Etat de Genève (outre des textes de Piaget et une série de documents biographiques, ce cédérom contient une "Présentation critique de l'oeuvre de Piaget", ainsi qu'un glossaire de notions piagésiennes et un glossaire d'auteurs liés à cette oeuvre). Diffusion: Delachaux et Niestlé, 1997.

Ducret J.-J., Real del Sarte O., Schachner W., "La rappresentazione dal punto di vista di una psicologia costruttivista delle condotte", *Livelli di rappresentazione*, p.243-281, Edizioni Quattro Venti, 1997

Inhelder B., Cellérier G. et al., *Les cheminements des découvertes de l'enfant. Recherche sur les microgenèses cognitives*. Paris et Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 1992.

Minsky M., *The society of mind*, New York: Simon and Schuster, 1986.

Piaget J., *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé, 1936.

Piaget J., *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé, 1937.

Piaget J., *La formation du symbole chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé, 1945.

Piaget J. , *Recherches sur l'abstraction réfléchissante: 2/ L'abstraction de l'ordre des relations spatiales*, Presses universitaires de France, 1977.

Real del Sarte O., Schachner W., "Constructivism and Cybernetics", *Proceedings of the Workshop "Constructivism, interactionism and their applications"*, CEPIAG, p. 12-23, 1996.

Schachner W., Real del Sarte O. et León C., "Valeur, indice et représentation dans le guidage des comportements élémentaires", *Proceedings of the Workshop "Les modèles de représentation: quelles alternatives ?"*, à paraître dans la collection Hermes, 1998.

Wiener N., *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 1948, first MIT Press paperback edition, Cambridge, Massachusetts, 1965.