

Françoise FOREST*, Maryse SIKSOU**

**Développement de concepts et
programmation du sens**
Pensée et langage chez Vygotski

"...si le chien est une vache, si il s'appelle bien vache, il doit avoir des cornes. Si on s'appelle vache, on doit avoir des cornes. Un chien qui s'appelle vache doit avoir obligatoirement des petites cornes..."

Vygotski, *Pensée et Langage*, p. 336

1. Pourquoi Vygotski ?

Comment justifier aujourd'hui le choix de Vygotski dans le cadre de la construction du sens ? Pourquoi s'attacher à la démarche d'un psychologue qui se réfère aux relations entre la pensée et le langage, au lieu de privilégier une référence plus actuelle se rapportant plus spécifiquement, par exemple, aux notions d'objet structuré, de prototype, de bloc d'information mnémonique compactée ? Notre intérêt pour la compréhension de l'architecture mentale chez

* LIMSI/CNRS, BP 133, 91403 ORSAY Cedex.

** Laboratoire de Psychopathologie fondamentale, Université PARIS-VII, UFR ScHCl, 13 rue de Santeuil, 752031, PARIS Cedex 05.

l'homme trouve chez Vygotski (1934)¹, et plus tard chez Luria (1967), un certain nombre de principes qui reposent pour l'essentiel sur une vision dynamique des « fonctions supérieures ». L'originalité de cette démarche est de considérer que la différenciation des processus mentaux au cours du développement et chez l'adulte, les opérations mentales en jeu, ne sont pas les mêmes en fonction du type de tâche à résoudre. Ainsi, l'écriture ne met pas en action les mêmes mécanismes chez le jeune enfant et chez l'homme adulte après l'acquisition de cette aptitude. Cette conception intègre les modifications liées à l'apprentissage et à l'adaptation. Par ailleurs, cette démarche s'efforce d'être théorique et empirique, et l'auteur se réfère à des situations précises. Enfin, on le verra plus loin, les idées de Vygotski ne sont pas incompatibles d'une part avec celles de Hebb et d'autre part avec le souci d'intégrer la conduite humaine dans un contexte. Les tentatives actuelles proposées par les néo-structuralistes et les cognitivistes développementaux nous encouragent à explorer la pertinence d'une implémentation de l'approche de Vygotski qui pourrait être utile pour tester certaines hypothèses en psychologie cognitive.

On constate souvent le décalage qui existe entre le développement d'une théorie et son appropriation par une autre discipline. On peut tout de même s'étonner de la méconnaissance des travaux de Vygotski, qui datent du début de ce siècle et sont pourtant pratiquement inconnus dans le domaine de l'Intelligence Artificielle.

Les limites des modèles classiques de représentation et de manipulation du sens nous ont progressivement convaincus que les fondements de ces modèles n'étaient pas adaptés. Ni l'apprentissage, ni l'adaptation n'y trouvaient leur compte.

La construction du sens ne doit pas s'appuyer sur la cascade traditionnelle d'analyses (morphologique, syntaxique, sémantique, pragmatique) des phrases. Il ne nous apparaît pas possible de

¹ L.S. Vygotski, psycholinguiste russe, né en 1896, mort en 1934. Les références entre crochets renvoient à la bibliographie, les dates entre parenthèses permettent de situer les différents travaux. On remarquera que les textes russes ont été publiés très tardivement par rapport à l'époque où ils ont commencé à circuler.

considérer que le sens véhiculé par des connaissances textuelles se trouve, tout construit, dans les textes. Ce sens se construit dans les interlocuteurs de la communication, au fur et à mesure que le dialogue se développe, ou au fur et à mesure de la lecture s'il s'agit d'une communication écrite. Ce sens est donc dépendant de l'individu sur lequel le texte agit. Le texte n'est d'ailleurs pas le seul élément qui intervienne dans cette construction à laquelle participent aussi tous les *a priori* du lecteur, et notamment toutes ses connaissances antérieures sur le domaine et son état d'esprit à l'instant où s'effectue le processus de compréhension. Une influence primordiale dans la construction du sens est dévolue aux relations préexistantes chez cet individu entre les mots et leur signification. Un des corollaires de cette approche est que le sens doit être considéré comme un processus qui évolue plutôt que comme une structure construite une fois pour toutes.

Les textes demeurent cependant pour nous des sources très importantes d'informations et notre objectif est de tirer profit de la masse de connaissances qui s'y trouve pour enrichir en qualité et en quantité l'information qu'une machine peut utiliser et transmettre à un utilisateur.

C'est en fonction de cette approche que les travaux effectués par les psychologues sur l'apprentissage du langage chez l'enfant nous ont semblé importants. L'approche constructiviste et dynamique de Vygotski nous semble particulièrement adaptée. Notre travail a consisté à faire une relecture de ses travaux à travers le prisme (déformant ?) de l'intelligence artificielle, dans l'optique d'une reformulation opérationnelle.

2. Les concepts "processus vivants"

2.1. L'orientation théorique de Vygotski

L'étude instrumentale de la formation de concepts est pour Vygotski la seule démarche scientifique qui permette à la psychologie d'étudier les liens entre la pensée et le langage. Cette orientation théorique fait du langage et de la pensée des processus mentaux différents, ancrés différemment tant du point de vue phylogénétique que du point de vue ontogénétique. Le langage lui-

même, selon Vygotski, varie en fonction des étapes du développement et *a fortiori* entre l'enfant et l'adulte (langage égocentrique et langage intérieur). Les critiques faites aux travaux antérieurs, qui privilégient « le produit déjà formé » (le mot) dans la méthode de la définition ou « un processus élémentaire » (l'extraction de traits) dans la méthode d'étude de l'abstraction, conduisent Vygotski à proposer une méthode instrumentale qui ne néglige pas les modifications de processus, et centre la recherche sur les conditions fonctionnelles de l'apparition du concept en prenant en compte à la fois le « matériel sur la base duquel s'élabore le concept et le mot qui permet son apparition ».

2.2. Les objectifs de la méthode et les caractères généraux de sa conception

Vygotski insiste sur le rôle fonctionnel du concept, le « concept [est] en action dans le processus vivant de résolution d'un problème [...] le concept ne vit pas isolément, il n'est pas qu'une formation figée, il a toujours telle fonction de communication, de signification, de compréhension.» (Vygotski; 1985 : 145). Se référant aux travaux de Ach (1921) — qui a eu le mérite d'introduire des mots artificiels (indépendants de l'expérience antérieure) et des concepts artificiels (correspondant à l'assemblage arbitraire de traits distinctifs) —, Vygotski s'oppose à la « vieille conception » selon laquelle « le concept apparaît par une voie purement associative, grâce à un renforcement maximal des liaisons associatives correspondant à des caractéristiques communes à toute une série d'objets et à l'affaiblissement des liaisons correspondant à des caractéristiques qui différencient ces objets entre eux ». Il insiste et précise que le processus de formation de concepts a toujours un caractère productif et non reproductif : « le concept émerge et prend forme au cours d'une opération complexe visant à résoudre un problème, la seule présence de conditions externes et l'établissement mécanique d'une liaison entre le mot et les objets ne suffit pas à le faire apparaître » . Cette formation, selon Ach, s'organise sur le type du processus orienté vers un but (tendance déterminante) et non comme une succession de maillons. Mais cela est insuffisant

pour Vygotski si on n'y ajoute pas la dimension de compréhension et de communication (Vygotski, 1985 : 151).

2.3. *La méthode instrumentale*

Vygotski utilise la méthode fonctionnelle de double stimulation. Le matériel est constitué de formes variant en fonction de plusieurs critères et impliquant des "symboles". Chaque série de stimuli joue un rôle différent : la première remplit la fonction d'objets (vers lesquels est orientée l'activité du sujet), la seconde remplit la fonction de signes (qui permettent à l'activité de s'organiser). Divers points sont importants à souligner pour spécifier cette situation :

a) Il n'y a pas d'apprentissage, le problème est au départ entièrement exposé, les moyens sont progressivement introduits — i.e. les stimuli signes ou mots sont transformés en grandeurs variables.

b) Le processus de formation de concepts s'effectue de haut en bas, du général au particulier, autant que l'inverse — il ne s'effectue pas de façon additive, en passant du concret à l'abstrait.

c) Le processus de formation de concepts (« processus vivant ») se décompose en étapes distinctes — dont chacune comporte un concept en action (Vygotski, 1985 : 153) : élaboration, transfert, association, jugement, définition de nouveaux concepts (Vygotski, 1985 : 154). Ce n'est qu'à l'adolescence que se développent les fonctions intellectuelles qui constituent la base psychique du processus de formation de concepts. La voie de développement des concepts passe par trois stades fondamentaux : pensée par tas, pensée par complexes, pensée abstraite.

2.4. *Le développement des concepts*

2.4.1. *La pensée par tas*

a) Débutant par la période d'essais et erreurs, la sélection de tas d'objets est le premier stade de la formation de concepts chez l'enfant, elle implique une extension diffuse de la signification du mot ou du signe qui le remplace ; seule la sélection subjective justifie les choix. La signification du mot consiste en un

enchaînement syncrétique informe d'objets liés dans la représentation et la perception de l'enfant et fondus en une image unique instable. À ce stade, c'est par hasard que la signification attribuée à un mot se recoupe chez l'enfant et l'adulte, et parce qu'elle se rapporte à des objets concrets de l'environnement de l'enfant.

b) Ce stade se poursuit par la disposition spatiale des figures (« l'impression de parenté » est subjective et liée à la perception de l'enfant).

c) Le stade se termine par l'image syncrétique (la prise de conscience que chaque élément du tas est un représentant d'une signification unique).

Selon les termes de Vygotski, dans ce processus, les liaisons qui permettent à l'enfant de comprendre un mot nouveau résultent « d'une élaboration à deux niveaux des liaisons syncrétiques. [on découvre] derrière la signification d'un mot enfantin [...] une perspective, une double série de liaisons, une double construction de groupes » (Vygotski, 1985 : 162).

2.4.2. *Le stade de la formation des complexes*

Les complexes ont la même signification fonctionnelle que les concepts de l'adulte. Ils sont l'expression d'une pensée cohérente et objective. Des vestiges de ce mode de pensée subsistent chez l'adulte. Vygotski se réfère au « nom de famille », i.e. au groupement de plusieurs membres, il s'agit d'une « appartenance (ou parenté) de fait [...] chaque élément du complexe peut être lié au tout exprimé dans le complexe et aux éléments isolés qui le composent par les liaisons les plus diverses » (Vygotski, 1985 : 165). Vygotski décrit cinq formes fondamentales de complexes :

a) *Le complexe associatif* : Au cours de l'expérience, un objet sera apparenté au noyau du futur complexe si l'enfant peut établir une liaison concrète associative quelconque (par similitude ou par contraste). Le modèle constitue une sorte de centre. Les éléments ne sont pas unis entre eux. « nommer un objet, c'est pour l'enfant à cette période l'appeler par son nom de famille » (Vygotski, 1985 :

166). Par exemple : vers 1 an, un enfant qui associe le mot *vaou-vaou* à un chien vivant, puis à des jouets en forme de chien, puis à tout objet oblong, également à des boutons de manchette, des perles... Les critères d'association avec l'objet de référence, le chien, sont la forme générale et les yeux qui brillent.

b) *Le complexe collection* : Il n'existe pas ici de liaison hiérarchique entre les traits distinctifs. Les objets sont réunis sur la base de leur complémentarité fonctionnelle (hétérogènes, complémentaires). Par exemple : le verre, la soucoupe, la cuillère et l'assiette. Un mot peut ainsi avoir pour l'enfant plusieurs significations quelquefois opposées (*avant* pour "avant" ou "après", *demain* pour "demain" et "hier"...).

c) *Le complexe en chaîne* « se construit sur la réunion dynamique et temporaire de maillons isolés en une chaîne unique et par le transfert de signification d'un maillon de la chaîne à un autre » (Vygotski, 1985 : 168). Le centre peut faire défaut, il y a sans cesse passage d'un trait distinctif à un autre.

d) *Le complexe diffus* : Il est la conséquence du précédent. Les liens associant les objets étant changeants d'un couple d'objets à un autre, le complexe semble diffus, imprécis. Les objets sont rassemblés sur la base d'une impression vague de communauté entre eux, qui varie et qui reste imprécise (fluide). Les propriétés d'extension et d'insertion sont infinies. Par exemple : triangle jaune -> triangles -> trapèzes -> carrés -> hexagones -> cercles ...

e) *Le pseudo-concept* : À l'extérieur c'est un concept, à l'intérieur c'est un complexe ! Par exemple : si l'enfant rassemble tous les triangles, c'est parce qu'ils se ressemblent concrètement. Il a fait un complexe associatif qui coïncide avec la réalisation expérimentale du concept adulte de triangle. Le pseudo-concept « est un pont jeté entre la pensée concrète, par images intuitives, et la pensée abstraite de l'enfant » (Vygotski, 1985 : 190). L'enfant trouve dans le langage des adultes des mots liés à des groupes déterminés d'objets, d'où la coïncidence dans leur référence entre le complexe enfantin et le concept adulte. Par exemple : le mot *chien* se rapporte

pour l'enfant au complexe concret des chiens, pour l'adulte au concept abstrait de chien. Ce stade persiste chez l'adulte.

La variété des critères d'association fait qu'un objet peut appartenir à plusieurs complexes, et donc avoir plusieurs dénominations (Vygotski, 1985 : 183).

2.4.3. Troisième stade : le concept

a) La réunion d'objets se fait d'abord sur la base d'une ressemblance maximale. Puis une différenciation est effectuée entre les traits distinctifs des objets d'un même ensemble, en fonction de la ressemblance maximale entre ces objets. Un groupe de traits distinctifs est à l'origine de l'insertion de l'objet dans le complexe. Puis les traits sont distingués en deux groupes « positifs, ou négatifs », qui font que certains traits sont abandonnés alors que d'autres prennent plus de relief.

b) Les concepts potentiels sont constitués sur la base de l'abstraction isolante, en fonction d'une attente, et font référence à un cercle déterminé d'objets (Groos, cité dans (Vygotski, 1985 : 195)). On constate déjà leur existence chez les animaux supérieurs. Par exemple, le singe qui a besoin d'un bâton va reconnaître comme semblables des objets qui peuvent avoir la même fonction. « Le bâton a acquis dans le champ visuel une valeur fonctionnelle déterminée pour certaines situations ; maintenant cette fonction pénètre d'elle-même dans tous les autres objets qui ont en commun avec le bâton certaines propriétés générales de forme et de consistance, quel que soit par ailleurs leur aspect ». Chez l'enfant, l'attribution d'un mot habituel à un objet nouveau en est l'équivalent.

La présence d'un trait distinctif, très instable, existe dans les complexes, mais dans le concept potentiel il s'agit d'un trait privilégié qui a été abstrait du groupe concret de traits distinctifs auxquels il est lié de fait. Avec le mot, « pour la première fois l'enfant, à l'aide de l'abstraction de traits distinctifs isolés, disloque la situation concrète, la liaison concrète entre les traits distinctifs et par là même crée la prémisse nécessaire à une nouvelle unification de ces traits sur une base nouvelle » (Vygotski, 1985 : 197).

c) Le concept apparaît lorsqu'une série de traits distinctifs qui ont été abstraits est soumise à une nouvelle synthèse et que la synthèse abstraite ainsi obtenue devient la forme fondamentale de la pensée, permettant à l'enfant de saisir la réalité qui l'environne et de lui donner un sens (Vygotski, 1985 : 197). Le rôle fondamental appartient alors au mot. « C'est à l'aide du mot que l'enfant dirige volontairement son attention sur certains traits distinctifs, à l'aide du mot qu'il en fait la synthèse, à l'aide du mot qu'il symbolise le concept abstrait et l'utilise en tant que signe » (Vygotski, 1985 : 197).

Ce sont les concepts spontanés de l'enfant qui suivent, dans leur formation, ces différentes étapes. Vygotski les distingue des concepts "scientifiques", acquis au cours de l'apprentissage scolaire, qui ne se développent pas de la même façon.

Il qualifie de concepts scientifiques toutes les notions qui sont d'abord présentées à l'enfant sous la forme d'une définition verbale. Parce que le concept scientifique est d'abord inséré dans un système qui s'appuie sur une association de mots, et non associé à une expérience dans laquelle une instance du référent serait présente, la première représentation que peut s'en faire l'enfant ne peut être qu'abstraite. Le concept est comme suspendu dans l'abstraction, retenu seulement par son insertion dans le maillage des mots. Cette première représentation ne correspond pas à une réelle "compréhension" du concept, cependant le concept est présent. Il reste à l'enfant, aidé de l'adulte, à construire les liens qui, progressivement, vont le rattacher à son expérience (c'est-à-dire à des données perceptives réelles ou reconstruites). On peut dire que le concept scientifique se développe plutôt « du haut vers le bas ».

2.5. Les mots : sens, transfert, coexistence de traitements divers

Les mots et le sens sont relativement indépendants. La compréhension mutuelle permet au mot "complexe de sons" d'acquérir une signification. La fusion des plans phonétique et sémantique des débuts du langage fait progressivement place à une distance de plus en plus grande entre ces aspects (Vygotski, 1985 :

336). Les mots de l'enfant ont la même référence concrète mais non la même signification que ceux de l'adulte. La fonction indicative du mot est plus précoce que sa fonction significative. « Le mot dénomme avant de signifier ». De même, dans les différentes langues, on distingue la signification d'un mot de la dénomination qui fait référence à un critère particulier caractérisant l'objet qu'on nomme. Par exemple : l'origine du mot qui signifie "tailleur" fait référence à du tissu en russe, au fait de tailler en français. On retrouve dans l'évolution des mots enfantins l'existence du transfert de signification, comme dans l'évolution historique des mots. Par exemple : le *vaou-vaou* qui désigne successivement toute une série d'objets très différents, par glissement, et le mot *sutki* qui en russe a d'abord désigné "couture" pour aboutir à "journée de vingt-quatre heures". La dénomination n'est jamais à l'origine un concept (i.e. le choix du critère distinctif pour dénommer l'objet n'est pas le critère logique exprimant l'essence du phénomène (Vygotski, 1985 : 188)). Au stade des complexes, le mot apparaît comme un nom de famille qui rassemble des objets pour la seule raison qu'ils ont le même nom. L'enfant ne lui associe pas encore de signification. Il trouve les complexes déjà formés dans les mots de l'adulte.

Dans les transferts de signification, le mot n'a pas une fonction d'attribution de sens mais une fonction dénomminative, indicative. Par exemple : pied de table, col de bouteille, bras de rivière. Le transfert a pour base des liaisons de fait très concrètes, il « s'effectue par association, contiguïté ou ressemblance sur le mode de l'image, c'est-à-dire de la pensée par complexes ». La pensée par complexes représente les premiers pas dans la voie de la généralisation des éléments isolés de l'expérience (Vygotski, 1985 : 192). A ce stade, l'enfant pense sous la signification du mot les mêmes objets que l'adulte. Mais le processus de différenciation y est très limité. Or décomposer et réunir constituent dans une égale mesure les moments internes nécessaires à la construction du concept.

Les différentes formes génétiques coexistent. Il existe une discordance entre la formation du concept et sa définition verbale. La présence et la conscience d'un concept ne coïncident pas. Elaboré dans une situation concrète, le transfert des concepts provoque des difficultés, de même que la référence abstraite. Le

passage du particulier au général et inversement est la règle et non, comme on le croyait, l'assimilation de traits semblables qui se superposeraient pour former une représentation générale qui serait le concept (exemple de la superposition des photographies de visages par Galton). « La pensée ne se meut pas à l'horizontale » (Vygotski, 1985 : 201).

3. Quelle traduction informatique ?

Vygotski situe son travail dans le cadre de la pensée verbale, et c'est en cela qu'il nous paraît utile ici. Notre préoccupation est de trouver une formulation opérationnelle des liens qui s'établissent entre la pensée et le mot, mais aussi des mécanismes sous-jacents. L'approche de Vygotski du développement des concepts quotidiens et de l'apprentissage des concepts scientifiques nous paraît, en ce sens, tout à fait apte à une implémentation informatique, même si, comme nous le verrons, certaines étapes restent obscures et demandent donc une interprétation plus poussée pour aboutir à une forme vraiment utilisable.

3.1. Les contraintes liées à notre approche

Comme on l'a vu plus haut, il n'est pas possible de représenter le sens d'un énoncé hors contexte, et notamment sans tenir compte de l'individu pour qui cet énoncé prend sens. C'est toute l'expérience de l'individu qui est impliquée dans la compréhension que cet individu a, à un instant donné, d'un énoncé perçu. Il importe donc de mémoriser cette expérience, c'est-à-dire de la représenter en machine. Que cette expérience soit explicitement codée ou recalculable, cela signifie, pour l'informaticien, de grandes quantités de données à stocker et à manipuler, et des temps d'accès qui peuvent devenir prohibitifs, eu égard aux phénomènes cognitifs que nous souhaitons simuler. C'est pourquoi, comme nous allons tenter de le justifier, nous nous sommes orientées vers des choix de machine et de structures massivement parallèles, sans lesquelles le modèle d'émergence qui est au coeur de notre approche perdrait beaucoup de sa pertinence.

3.2. Les options informatiques choisies

3.2.1. L'architecture

En 1985, Hillis disait à propos de sa "machine à connexions" (Connection Machine ou CM) : « Il n'est pas difficile, aujourd'hui, de construire une machine comportant des centaines de milliers, voire des millions, de minuscules cellules de calcul, et qui possède un pouvoir de calcul brut supérieur de plusieurs ordres de grandeur à la plus rapide des machines conventionnelles. Mais comment coupler cette capacité brute aux applications intéressantes, comment programmer le matériel pour lui faire effectuer un travail ? Comment décomposer notre application en centaines de milliers de parties exécutables en parallèle ? Comment coordonner les activités d'un million d'éléments de calcul pour la réalisation d'une tâche ? L'architecture de la machine à connexions a été conçue en réponse à toutes ces questions » (Hillis, 1988 : 15).

Lier l'acquisition du langage aux perceptions et aux affects qui ont accompagné cette acquisition, pour en faire émerger une représentation du sens, nous paraît être une de ces applications intéressantes pour lesquelles l'architecture de la CM s'avère particulièrement adaptée. Nous nous trouvons devant la nécessité de stocker puis de gérer une quantité considérable de données, tant perceptives et affectives que verbales. L'organisation de ces données doit être en constante évolution si l'on veut simuler le développement des concepts dont parle Vygotski. Toutes ces modifications doivent pouvoir s'effectuer en des temps suffisamment courts si l'on veut se donner les moyens de construire un modèle utilisable. C'est donc l'architecture massivement parallèle qui nous a semblé la plus adaptée à des calculs "en temps réel" sur de grandes quantités de données, comme aux traitements élémentaires, simples mais nombreux, auxquels nous devons faire appel.

Dans l'ouvrage déjà cité, Hillis rappelle d'ailleurs que des applications cognitives sont à l'origine de la conception de la CM : « Répondre [...] à une simple question de bon sens comme *Ma pomme va-t-elle tomber si je la lâche ?* peut demander plusieurs heures à un ordinateur séquentiel. Et pourtant, un être humain

répond à des questions similaires presque instantanément, de sorte que nous avons de bonnes raisons de penser que cela peut se faire de manière parallèle. Cette application particulière, qui consiste à extraire une connaissance de sens commun dans un réseau sémantique, fut l'une des motivations à la base de la conception de la machine à connexions. » (Hillis, 1988 : 18). L'exemple cité se situe dans le cadre d'une implémentation matérielle du réseau NETL (Fahlman, 1979). Bien que la tâche cognitive qui nous intéresse soit différente, les informations que nous manipulons sont au moins aussi complexes que celles contenues dans NETL, puisqu'il s'agit de considérer à la fois les aspects perceptifs, affectifs et verbaux des événements accumulés au cours des différentes étapes de l'acquisition du langage.

3.2.2. Les structures de données et les techniques

« Nous avons de nombreux exemples spécifiques pour lesquels des calculs particuliers peuvent être effectués avec un haut degré de parallélisme en calquant l'organisation des éléments de calcul sur la structure naturelle des données.» (Hillis, 1988 : 16). Si nous pouvons envisager l'utilisation du parallélisme massif pour l'implantation de notre modèle, c'est justement parce que "la structure naturelle" des données s'y prête. En choisissant de représenter la compréhension par un processus d'activation dans un réseau associant les mots et l'expérience, nous ne faisons que définir des structures de "graphes valués orientés" dans lesquels des activations sont propagées. La grande taille de ces graphes et l'importance du rôle des valuations impliquent l'utilisation d'outils numériques performants, statiques comme les techniques d'analyse de données classiques, ou dynamiques comme les techniques connexionnistes. Les traitements massivement parallèles permettent des ajustements très rapides de la force des connexions et du poids relatif des différents éléments de la structure. On peut ainsi espérer utiliser le modèle comme un outil d'expérimentation et peut-être de validation de quelques hypothèses de nature psycholinguistique et neuropsychologique. Nous pensons plus particulièrement à certains phénomènes observés sur des patients atteints de troubles de l'accès ou troubles de la représentation lexicale.

3.3. Lecture informatique des processus mentaux

3.3.1. Modéliser les complexes

D'un point de vue informatique, la notion de complexe se modélise bien à l'aide d'une structure graphique permettant d'établir des liens entre le mot et les perceptions qui sont cooccurrentes à son utilisation ou à son audition. C'est le cas dans les modèles du type perceptron par exemple. Les différents objets perçus par l'enfant sont modélisés par un vecteur d'entrée constitué d'un ensemble de perceptions plus ou moins fortes. Le mot associé est codé sur la couche de sortie, et l'apprentissage s'effectue par des modifications de liens entre les couches, modifications tendant à forcer l'activation du mot convenable lorsqu'une situation d'apprentissage est perçue. Cet apprentissage dure tant que l'enfant a besoin d'une confirmation par l'adulte de la "bonne" utilisation du mot. Plus tard, la stabilisation de l'apprentissage entraînerait plus vraisemblablement une remise en cause de la crédibilité de l'adulte. Il s'agit d'un phénomène complexe qui suppose des facultés particulières de l'individu, notamment la confiance en soi et la conscience de soi que nous ne tenterons pas de formaliser pour l'instant ! Le nombre de couches, la nature des perceptions et le choix de leur codage sur la couche d'entrée nécessitent des hypothèses simplificatrices dont nous avons parfaitement conscience. Cependant la mise en évidence par Vygotski de cette étape des complexes nous permet de circonscrire le problème de mise en relation des mots et de la réalité qu'ils décrivent, et donc de l'enracinement du langage dans l'expérience, c'est-à-dire dans une certaine perception du monde réel.

3.3.2. Le statut du mot

Vygotski indique clairement l'utilisation du mot comme outil. On peut remarquer que son statut n'est pas identique aux différentes étapes du développement des concepts. Objet de perception, expression linguistique d'une abstraction ou étiquette verbale d'un objet du monde, le mot doit jouir d'une représentation qui le distingue des autres entités manipulées, et l'insère comme acteur

central dans la structure de représentation du sens. L'implémentation devra tenir compte de ces différents rôles d'un même mot.

3.3.3. *Les concepts potentiels*

Nous dirons que l'enfant fonctionne par reconnaissance de formes tant qu'il est du côté des complexes, et qu'il franchit le passage vers le raisonnement symbolique lorsqu'il prend conscience de l'existence des traits caractéristiques d'une classe et devient capable de les nommer.

La prise de conscience des traits correspond à un « saut qualitatif » dans la pensée de l'enfant qu'il n'est pas facile de modéliser. Des travaux ont été effectués, dans le domaine des réseaux connexionnistes, sur ce problème de l'extraction de caractéristiques (Elman, 1989 ; Crucianu et Memmi, 1991). Ils portent notamment sur une observation du comportement des neurones de la ou des couches cachées vis-à-vis des différentes classes d'objets apprises par le réseau (Bochereau et Bourguine, 1989). Bien que des résultats aient été obtenus, en particulier dans le cadre de comparaisons entre méthodes connexionnistes et méthodes traditionnelles d'analyse de données (Gallinari, 1991), il n'est pas possible, pour l'instant, d'exprimer en termes simples comment les axes factoriels discriminants pourraient être matérialisés par des neurones isolés ou non, ou par certains types de connexions ou d'attracteurs spécifiques dont l'émergence pourrait se faire automatiquement à l'aide d'un traitement purement numérique des données perceptives. L'étude que fait Vygotski de l'apprentissage des concepts scientifiques et sa répercussion sur le développement de l'enfant pourrait apporter un élément de solution. C'est pourquoi nous allons maintenant aborder cet aspect de son travail.

3.3.4. *Les concepts scientifiques*

L'instant de l'assimilation du concept scientifique est aussi difficile à formaliser que l'était le saut qualitatif décrit plus haut pour les concepts spontanés. Il s'agit de l'instant de l'expérience déclic, autrement qualifiée d'expérience *ah ! ah !* à partir de laquelle l'enfant peut dire qu'il a compris ou assimilé le concept. Cette

compréhension pourra se manifester par exemple par une reformulation verbale de la définition du concept. Mais cette reformulation, au lieu de n'être qu'une succession de mots vides de sens, ou porteurs de significations déconnectées les uns des autres, est le résultat d'un processus de la pensée qui organise à l'intérieur d'une nouvelle structure les significations que l'enfant leur associe. Les mots, dans cette nouvelle définition, sont bien une manifestation (dans ce cas, une manifestation linguistique) de la façon dont l'enfant a réussi à connecter le nouveau concept à l'ensemble des connaissances déjà assimilées. Le parcours de construction du concept n'est pas pour autant terminé : la thèse de Vygotski, centrale dans son travail, est que les concepts se développent et évoluent constamment, en relation avec la structure conceptuelle dont dispose déjà l'enfant et de l'expérience qu'il a acquise et qu'il continue d'acquérir. Cet aspect dynamique des concepts se modélise aisément en termes d'activations dans un graphe. L'intensité et la portée des activations varient en fonction de préactivations plus ou moins fortes de certains nœuds du graphe qui sont l'expression de la prégnance plus ou moins grande des concepts qui leur sont associés dans l'esprit de l'individu.

3.4. Développement et apprentissage : matérialiser leurs influences réciproques

Si on reprend cette image d'un concept scientifique "connecté" aux mots qui le décrivent, on voit bien que l'accès à une expérience déclic n'est possible que si ces mots sont reliés à l'expérience passée de l'enfant, et que cet accès est d'autant plus facile et plus rapide que les mots sont "sémantiquement riches", c'est-à-dire fortement connectés à des concepts adultes et à des pseudo-concepts déjà assimilés. Le développement des concepts scientifiques s'appuie donc sur l'existence d'un nombre suffisant de concepts spontanés et de pseudo-concepts.

Les influences réciproques du développement de la pensée et de l'apprentissage des concepts scientifiques s'appuient, pour Vygotski, sur deux notions qu'il nous faut maintenant reformuler, la maturation d'un pseudo-concept et la zone de proche développement.

3.4.1. Reconnaître l'état de maturation d'un pseudo-concept

La maturation est une notion qui permet à Vygotski de déterminer quand un pseudo-concept est prêt à devenir un concept, c'est-à-dire à effectuer le fameux "saut qualitatif". Pour nous, cette maturation dépendra de la richesse de l'expérience associée, c'est-à-dire de la taille du complexe et de sa "dispersion" dans l'ensemble des perceptions élémentaires. Formulée en termes de graphes valués, la maturation d'un complexe sera fonction de sa richesse en liens internes, de sa cohésion interne et de sa pauvreté (relative) en liens externes. Nous dirons que le pseudo-concept est suffisamment mûr si une modification très faible du graphe, liée par exemple à la création d'un lien supplémentaire, permet à la cohésion interne de dépasser le seuil au-dessus duquel la "cristallisation" aura lieu. Ce processus de cristallisation devrait pouvoir être partiellement simulé par une condensation de graphe (Berge, 1987). Mais il est clair que cette opération de condensation ne sera pas suffisante. Il faut se souvenir du fait que, pour passer au stade de concept adulte, un pseudo-concept doit aussi être un concept potentiel. Sa maturation est donc aussi fonction de la possibilité de l'émergence imminente des traits caractéristiques de la classe d'objets qu'il rassemble. Nous avons déjà évoqué la difficulté d'explicitation de cette étape. Il s'agira pour nous d'inventer une représentation qui, à travers des processus numériques, rendra compte de l'émergence de connexions fortes entre le concept en voie de développement et des concepts déjà assimilés qui apparaîtront comme des traits abstraits de description de ce concept.

3.4.2. Les conditions de "cristallisation" d'un pseudo-concept : la zone de plus proche développement

Cette notion est liée à celle de maturation des concepts. On dira qu'un concept est dans la zone de plus proche développement de l'enfant, à un âge donné, lorsque les notions, sur lesquelles le concept nouvellement défini s'appuie, ont une maturation suffisante pour permettre à ce concept d'atteindre l'expérience déclic à partir de stimulations verbales appropriées de la part de l'adulte. A contrario, un concept ne sera pas encore dans cette zone si aucune formulation verbale ne permet ce cheminement. Mais le concept peut aussi ne plus être dans la zone. C'est le cas lorsque les notions

sur lesquelles il s'appuie sont déjà abstraites. Il semblerait qu'alors, la connexion "vers le bas" ne s'effectue plus, notamment à cause d'une absence de motivation de l'enfant. C'est-à-dire que la connexion au réel doit être simultanée à la cristallisation d'un ou de plusieurs pseudo-concepts, comme si c'était l'énergie dégagée par leur cristallisation qui permettait le cheminement du concept vers le réel. Il est à remarquer qu'on pourrait aussi voir comme des prémisses ce que nous présentons ici comme des conséquences et faire l'hypothèse que c'est la force de la motivation, liée à la force de mobilisation de la volonté mise en œuvre dans l'apprentissage scolaire, qui fournit le "plus" permettant au pseudo-concept d'atteindre la cristallisation. Il demeure que, avec l'une ou l'autre de ces interprétations, les entités manipulées sont des flux d'énergie interagissant avec des changements d'état. Reste à les exprimer en termes de valuation de liens et de force de propagation d'activations dans un processus de condensation de graphes.

3.5. Comment formuler les liens qui évoluent entre la pensée et le mot

Le concept scientifique, nous l'avons déjà dit, apparaît d'abord dans un « système » (selon les termes de Vygotski). Nous interpréterons ce système comme étant une "structure", et plus précisément une structure graphique.

3.5.1. Deux niveaux de représentation

- la représentation de l'expérience mémorisée mise en évidence dans l'étude des concepts spontanés
- le système conceptuel illustré par les concepts scientifiques, dans lequel chaque élément est défini en fonction de ses relations de dépendance aux autres.

Appliqués aux concepts, Vygotski nous dit que « systématique », « conscient », « volontaire » sont synonymes, tout comme « spontané », « non conscient », « non volontaire » sont équivalents (Vygotski, 1985 : 244). C'est dire que la prise de conscience d'un concept revient à son intégration dans une structure, à l'établissement de liens entre lui et d'autres concepts. Dans le même temps, il change de nature. Il nous faut donc

distinguer la matérialisation du complexe comme regroupement d'expériences affectivo-perceptives, et son abstraction qui se matérialise notamment par un nœud à l'intérieur d'une structure conceptuelle.

Le niveau de l'expérience

L'ensemble de toutes les expériences et des liens qui se créent avec les mots au cours de la construction des concepts spontanés est, pour Vygotski, un objet d'une autre nature que la structure conceptuelle. Il s'y expriment des relations de proximité et d'influence, de propagation d'activation, qui suggèrent que cet objet doit avoir à la fois les caractéristiques d'un graphe orienté valué et celles d'un ensemble muni d'une topologie. Certains types de réseaux connexionnistes, comme les cartes de Kohonen, associent ces particularités, mais leur aspect de graphes réguliers n'est pas satisfaisant. Nous n'avons pas encore rencontré dans la littérature de modèle de réseau adapté à l'expression de ces phénomènes. Il nous faudra donc explorer d'autres voies.

Le niveau conceptuel

Pour Vygotski, les concepts ne sont pas des formes figées mais des processus qui évoluent et se développent. Ils existent à l'intérieur d'un système lui-même enraciné dans l'expérience par l'intermédiaire des mots. C'est dire que niveau conceptuel ne signifie pas niveau de matérialisation des concepts, mais niveau d'où partent toutes les connexions qui lient chaque abstraction, d'une part aux mots, d'autre part aux expériences réelles ou virtuelles qui en expriment l'assimilation par l'individu. Un concept ne sera matérialisé que par la portion de structure temporairement activée par des stimulations externes et internes à l'individu, une structure hybride qui associe des abstractions, des mots et des éléments d'expérience, et que nous détaillerons plus loin.

3.5.2. *Les processus*

a) L'émergence des concepts spontanés dans la structure conceptuelle

La pensée « s'enracine » dans l'expérience perceptive et affective de l'enfant et se « réalise » dans le mot à partir des interactions de

l'enfant avec les adultes, car l'émergence d'une structure du sens ne peut se faire que par l'intervention du mot. C'est le mot qui sert de pivot à la construction des pseudo-concepts, c'est le mot qui permet le franchissement du pas qualitatif vers les concepts véritables.

b) L'assimilation des concepts scientifiques

L'enfant ayant intégré le concept scientifique à son propre savoir, le concept et son environnement sémantique prennent une consistance "physique". Ce phénomène peut s'interpréter comme la construction d'une structure hybride constituée à la fois d'éléments conceptuels et d'éléments perceptuels qui permettent à l'enfant de reconstituer une expérience fictive concernant ce concept, une expérience qu'il est capable d'exprimer grâce aux liens verbaux qui existent maintenant, c'est-à-dire qu'il est capable de décrire. Et puisqu'il est capable de la décrire, c'est qu'il a pris conscience des éléments qui constituent cette expérience, ce n'est donc plus une expérience subie, mais volontaire. Il a changé de niveau. Il a réussi à concrétiser le concept et à l'abstraire à nouveau.

c) Le transfert de structure

Pour Vygotski, l'assimilation d'un concept scientifique participe au développement de l'enfant dans la mesure où elle crée la possibilité d'abstraction de concepts spontanés.

La structure hybride construite dans le processus d'assimilation décrit plus haut revêt une certaine forme. Cette forme peut être rapprochée d'autres formes semblables mais incomplètes, notamment à cause de l'absence des éléments conceptuels. Si nous supposons qu'une forme partielle semblable est la matérialisation d'un pseudo-concept ayant atteint la maturité, la forme complète, active à cet instant, peut être une incitation suffisante pour que le pseudo-concept franchisse le pas qualitatif. La cristallisation reviendrait alors à compléter la structure de bas niveau qui liait le mot aux expériences, par un nœud et des liens de nature conceptuelle, à l'identique de ceux existant dans la structure complète matérialisant le concept scientifique qui était à l'origine de ce "bouleversement".

4. Conclusion

La méthode instrumentale de Vygotski met en évidence des aspects qui restent très actuels, notamment dans l'optique d'une reformulation informatique.

La notion de développement des concepts nous paraît fondamentale dans une perspective de modélisation du sens. Elle favorise en effet une approche dynamique de la représentation en permettant de saisir la souplesse des mécanismes d'évolution et d'adaptation. Elle permet de constater que l'exécution d'une tâche renvoie à des processus mentaux différents au cours du développement génétique, certains de ces mécanismes restant fonctionnels et disponibles une fois le niveau conceptuel atteint.

Selon Vygotski, la communication fonde le sens pour un sujet "en contexte". Ce point de vue diffère radicalement de ceux adoptés habituellement pour représenter le sens en Intelligence Artificielle. Les approches classiques s'appuient sur l'existence d'un réseau sémantique et de liaisons conceptuelles définis a priori (les concepts étant connectés statiquement à des listes de mots). Elles ne font pas apparaître le lien fondamental qui existe entre l'expérience d'un individu, par exemple son apprentissage "spontané" de la langue, les concepts et liens conceptuels qui s'établissent ensuite pour lui. Elles n'expliquent pas pourquoi le sens d'un énoncé est si fluctuant.

Mais comment rendre compte de la prise de conscience des concepts, de l'auto-réflexivité du langage, de la plasticité des processus "en perpétuelle transformation", des influences réciproques de l'apprentissage et du développement, des aspects affectifs... Comment formaliser la construction des concepts sans tomber dans un associationnisme "reproductif"... Comment prendre en compte les aspects multimodaux de l'expérience...

Peut-on imaginer un "tissage" de représentations stables qui se "liraient" dans des modalités diverses en fonction des situations "d'activation" ou de "repos" ?

Malgré la complexité de l'approche de Vygotski et l'absence de lisibilité immédiate de ses recherches en termes d'intelligence artificielle, son exploration du développement de concepts nous paraît une voie qui évite l'écueil d'une référence exclusive au cadre de la mémoire sémantique ou à celui des modèles structuraux des

opérations mentales. Son approche non dualiste s'adapte bien à une formulation associant des méthodes connexionnistes et symboliques, et permet de définir plus clairement leurs rôles respectifs pour un traitement du sens².

Françoise FOREST*, Maryse SIKSOU**

*LIMSI/CNRS, ORSAY

** Laboratoire de Psychopathologie fondamentale,
Université PARIS-VII

Nous remercions le comité de programme des journées de Rochebrune 1992 qui nous a suggéré cette collaboration, tous les collègues qui nous encouragent dans cette entreprise, et notamment Y.M. Visetti, B. Grau et F. Bordeaux. Merci à M.P. Péry-Woodley pour sa relecture de la version anglaise. Merci aussi à Monsieur Creed [Creed 88]...

Bibliographie

- ACH N. (1921) *Veber die Begriffsbildung: eine experimentelle Untersuchung*. Bamberg.
- BEAUDICHON J., ROUSSEAU J. (1970-71) Rôle du langage dans une situation de résolution de problème. *Bull. de Psychologie*. 24-10-38.
- BERGE C. (1987) *Hypergraphes*. Paris : Gauthiers-Villars.

² On peut qualifier de "chantier" l'état actuel de nos travaux. Cet article avait pour objectif d'en décrire les fondements théoriques. L'aspect implantation informatique pose des problèmes dont nous pouvons dire rapidement qu'ils concernent notamment la disponibilité des différents outils que notre approche nécessite. Ainsi, quelques résultats sont disponibles sur les problèmes de condensation de graphes mais, à notre connaissance, aucun sur une implantation massivement parallèle. De même, la littérature "connexionniste" n'apporte pas de solution satisfaisante à la représentation distribuée des expériences accumulées. Il a donc fallu développer d'autres modèles qui s'inspirent notamment de résultats obtenus dans le domaine de la perception visuelle et du traitement du signal. Plusieurs personnes, dont trois étudiants doctorants, sont concernées par ce projet développé dans le cadre du LIMSI au sein duquel le groupe "Langage et Cognition" a accueilli et soutient depuis plusieurs années cette approche de la représentation des connaissances, pourtant plutôt atypique en IA classique.

- BOCHEREAU L., BOURGINE P. (1989) Implémentation et extraction de traits sémantiques sur un réseau neuro-mimétique : exemple de la première annonce au bridge. *Neuro-Nîmes* 89. *Les réseaux neuro-mimétiques et leurs applications*, pp. 126-141
- BRUNER J. (1991) ... *car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel (traduit par Y. Bonin, de *Acts of Meanings* 1990, Harvard University Press).
- CREED R.P. (1988) What is language ? *ESSCS, 6th workshop*. Varenna.
- CRUCIANU M., MEMMI D. (1991) Extraction de la structure implicite dans un réseau connexionniste. *Notes et rapports internes du LIMSI*, Octobre.
- ELMAN J.L. (1989) Representation and structure in connectionist models, *Rapport n° 8903*. Center for research in language, University of California, San Diego.
- FAHLMAN S.E. (1979) *NETL: A System for Representing and Using Real-World Knowledge*. MIT Press.
- GALLINARI P. & al. (1991) On the relations between discriminant analysis and multilayer perceptrons *Neural networks*, vol. 4, pp. 349-360.
- HILLIS W.D. (1988) *La machine à connexions*. Paris : Masson.
- LURIA A.R. (1978) *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*. Paris : PUF. (Traduction française N Heissler et G Semenov-Ségur de *Vissshie Korkovie Funcii Tcheloveka*, Moscou, 1967).
- LURIA A.R. (1973) *The working brain, an introduction to neuropsychology*. Londres : Penguin Press.
- LURIA A.R. (1982) *Itinéraires d'un psychologue*. Sous la direction de E. Khomskaïa, Moscou : Editions du Progrès.
- PAVLOV I. (1949) *Œuvres Complètes*. Vol III, Ed. Moscou.
- PIAGET J. (1923) *Etudes sur la logique de l'enfant I. Le langage et la pensée chez l'enfant*. Paris-Neuchâtel : Delachaux et Niestlé [5° ed. 1962].
- PIAGET J. (1924) *Etudes sur la logique de l'enfant II. Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*. Paris-Neuchâtel : Delachaux et Niestlé [5° éd. 1963].
- PIAGET J. (1936) *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- PIAGET J. (1945) *La formation du symbole chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé [2° éd. 1959].
- PIAGET J. (1947) *La psychologie de l'intelligence*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- PIAGET J., INHELDER B. (1967) *Genèse des structures logiques élémentaires*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- VYGOTSKI L.S. (1985) *Pensée et langage*. Paris : Éditions sociales (Traduction de *Myschlenie y rech'* (1933), publié dans *Izbrannye psikhologicheshie issledovanya*. Moscou 1956.
- VYGOTSKY L.S. (1962) *Thought and language*. Cambridge : M.I.T. Press (traduction abrégée).

- WALLON H. (1934) *Les origines du caractère chez l'enfant*. Paris : PUF [3^e éd. 1954].
- WALLON H. (1941) *L'évolution psychologique de l'enfant*. Paris : Colin [5^e éd. 1957].
- WALLON H. (1956) *Les étapes de la personnalité chez l'enfant* Paris : PUF, réédité dans *Enfance*, Paris, 1963.