



Sommaire

Introduction

Concepts et définitions

Historique

Réseaux sémantiques



Micromondes et métacognition

Perspectives de recherche

Conclusion

Bibliographie

Annexes

Depuis plus de trois décennies, les chercheurs en sciences cognitives et, en particulier, les chercheurs en psychologie cognitive et en intelligence artificielle, essaient de décrypter les mystères du fonctionnement mental de l'être humain et des fonctions activées lors d'apprentissages. Ils nous proposent des modèles dont un certain nombre s'appuie sur la notion de réseau. En effet, comment ne pas mettre en parallèle l'ordinateur, vaste réseau de portes logiques, avec le cerveau, inextricable réseau de neurones. Il est d'ailleurs à remarquer que le développement conjoint de l'informatique et de la psychologie cognitive fait que de nombreux modèles proposés dans une des deux disciplines se retrouve sous une forme analogue dans l'autre.

Dans ce chapitre, nous allons explorer ces différents modèles : réseaux sémantiques, schémas et autres objets cognitifs, en compagnie de J.F. Richard³⁴ et d'A. Baddeley³⁵, figures éminentes de la psychologie cognitive.

J.F. Richard propose différentes formes de connaissances et diverses structures utilisées pour les décrire :

- les connaissances sur les objets (les concepts), sur les actions et les procédures et leur organisation en réseau sémantique ;
- les connaissances sur les situations et les événements exprimés par des schémas,

Précisons ce que l'auteur entend par connaissance et par représentation.

Dans la perspective de la psychologie cognitive, les représentations sont des constructions circonstancielles faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques pour faire face aux exigences de la tâche en cours, par exemple un texte qu'on lit, une consigne qu'on écoute, un problème qu'on s'emploie à résoudre. Les représentations prennent en compte l'ensemble des éléments de la situation et de la tâche, elles sont très particularisées, occasionnelles et précaires. Il suffit que la situation change ou qu'un élément non remarqué de la situation soit pris en compte, alors qu'il ne l'était pas, pour que la représentation soit modifiée. Elles sont donc transitoires : une fois la tâche terminée, elles sont remplacées par d'autres représentations liées à d'autres tâches. Les représentations sont immédiatement efficaces et constituent le contenu de la mémoire opérationnelle composé des informations stockées en mémoire de travail et les informations actives de la mémoire à long terme (la mémoire sémantique pour A. Baddeley).

³⁴Richard Jean-François (1995), *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*, 2ème édition, Armand Colin, Paris.

³⁵Baddeley Alan (1993), *La mémoire humaine. Théorie et pratique*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble

Les connaissances sont aussi des constructions mais elles ont une permanence et ne sont pas entièrement dépendantes de la tâche à réaliser. Elles sont stockées en mémoire à long terme et, tant qu'elles n'ont pas été modifiées, elles sont supposées se maintenir sous la même forme. L'ensemble des psychologues cognitivistes s'accordent sur cette dualité. Seules les dénominations changent suivant les auteurs, à savoir représentations occurrentes ou structures circonstancielle pour les représentations et représentations-type ou structures permanentes pour les connaissances.

Il est à remarquer que cette distinction n'est pas faite aussi nettement dans le champ des didactiques ou celui des sciences de l'éducation où d'ailleurs les termes information, connaissance ou savoir sont employés de façon souvent synonymique. Par exemple, le didacticien J. P. Astolfi³⁶ nous propose un modèle inspiré des trois mondes de K. Popper où la connaissance propre à un individu (ce que ne sont, d'après le modèle proposé, ni l'information, ni le savoir) constitue l'ensemble des représentations du sujet. Dans cette optique, les termes représentation et connaissance sont aisément interchangeables.

³⁶ Astolfi Jean-Pierre (1992), *L'école pour apprendre*, ESF éditeur, coll. Pédagogie, Paris.

Réseau sémantique

Connaissances sur les concepts ou objets

La question de savoir comment nous devons organiser les concepts est une longue histoire qui remonte à l'Antiquité. Déjà au quatrième siècle avant JC, Aristote considère que les mots doivent être définis correctement et logiquement, de manière à éviter les erreurs de raisonnement. Il propose un modèle hiérarchique qui est une approche logique de l'organisation des concepts et qui a des points communs évidents avec la théorie classique des réseaux sémantiques.

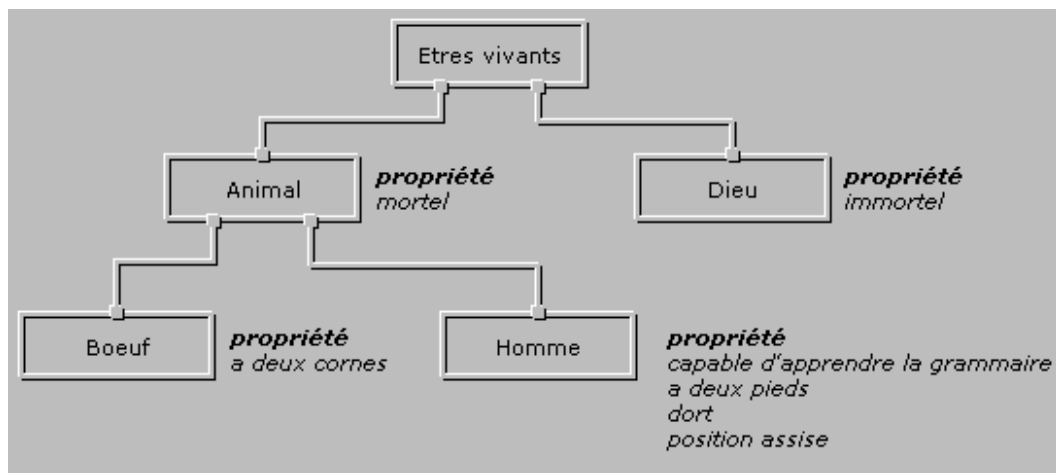


Figure 6 : Exemple de structure sémantique d'après Aristote

Le point de vue classique

Ross Quillian est à l'origine du concept de réseau sémantique et l'exprime à travers sa thèse où il étudie le problème de la réalisation d'un programme informatique capable de comprendre un texte. Il élabore pour cela un modèle qu'il nomme TLC (Teaching Language Comprehender), un système d'apprentissage et de compréhension du langage. L'organisation hiérarchique de la mémoire sémantique, analogue aux propositions d'Aristote, représente une caractéristique essentielle de ce modèle. Il s'en distingue néanmoins par deux caractéristiques importantes :

1. D'une part, les deux modèles supposent l'existence de concepts et de propriétés associées, mais le modèle de R. Quillian est plus structuré. Il n'admet qu'un seul type de propriété associée alors que celui d'Aristote acceptait les types différents.
2. D'autre part, le modèle d'Aristote est un modèle logique alors que R. Quillian propose TLC comme un modèle d'organisation de la mémoire sémantique, c'est à dire un modèle psychologique.

Le schéma ci-dessous donne un aperçu de la structure du modèle TLC.

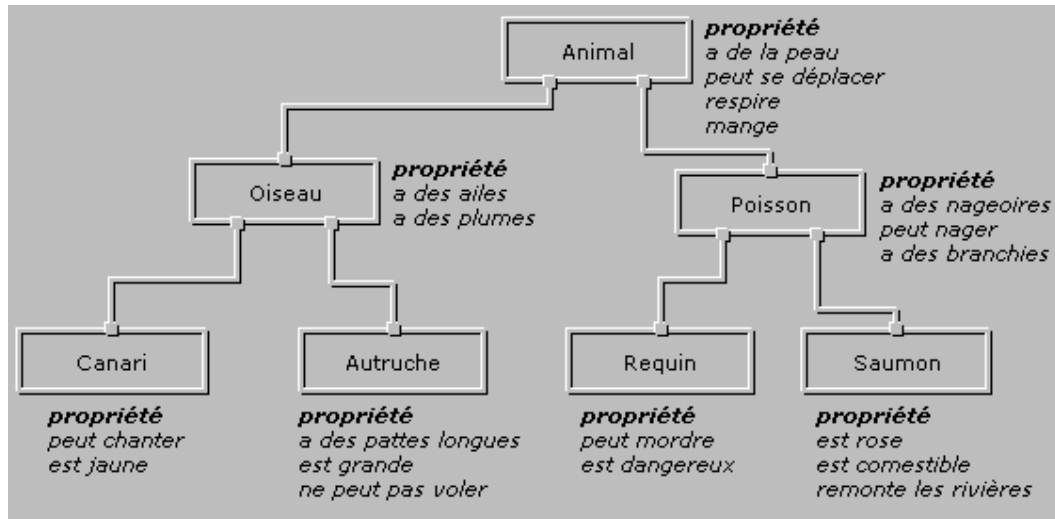


Figure 7 : Exemple de modèle TLC

Le modèle de R. Quillian³⁷ se fonde sur la supposition de l'existence d'un réseau de relations hiérarchisées entre les concepts. Les concepts sont représentés comme noeuds du réseau et à chaque noeud est associé un certain nombre de propriétés.

L'hypothèse d'économie cognitive constitue une caractéristique remarquable du modèle TLC. Il est plus économique d'attacher une caractéristique commune à un ensemble de concepts au niveau le plus haut de la hiérarchie. Avec cette façon de représenter les concepts, il n'est pas besoin de stocker en mémoire pour chaque concept l'ensemble des propriétés. Celles qui lui sont propres suffisent, les autres peuvent être déduites. Il suffit pour cela de remonter l'arbre pour avoir la liste complète des propriétés. Cette organisation se retrouve dans la programmation orientée objet, où certains objets héritent

³⁷ Cité dans Baddeley A. (1993) : Quillian M.Ross,(1969), The teachable language comprehender : a simulation program and theory of language, Communication of the ACM, 12, 459-476.

des propriétés d'autres objets situés au-dessus dans la hiérarchie. Ainsi, pour R. Quillian les concepts définissent une hiérarchie : les concepts supérieurs (qui sont en haut de la hiérarchie) possèdent un petit nombre de propriétés, ce sont des concepts généraux qui ont une grande extension. Les concepts qui ont en bas de la hiérarchie ont un plus grand nombre de propriétés, ils héritent en particulier de toutes celles des niveaux supérieurs.

Le psychologue Alan Collins collabore avec R. Quillian afin de tester expérimentalement TLC en temps que modèle psychologique.

Pour valider le modèle, ils font l'hypothèse que si les connaissances sont organisées suivant un réseau hiérarchique, le temps nécessaire pour récupérer une connaissance doit être fonction de la distance entre le noeud qui fait l'objet de la question et le noeud auquel se trouve stockée l'information recherchée. La réponse doit être plus rapide quand l'information est proche et d'autant plus lente que le nombre d'arcs (de liens) à remonter est important.

Les deux résultats suivants illustrent cette hypothèse :

1. Il faut moins de temps pour vérifier qu'un canari est un oiseau (écart d'un niveau) que pour vérifier qu'un canari est un animal (écart de deux niveaux).
2. Il faut plus de temps pour vérifier qu'un canari peut voler (même niveau) que pour vérifier qu'un canari peut chanter (écart d'un niveau) et plus de temps encore pour vérifier qu'un canari a de la peau (écart de deux niveaux).

Le diagramme suivant illustre cet exemple.

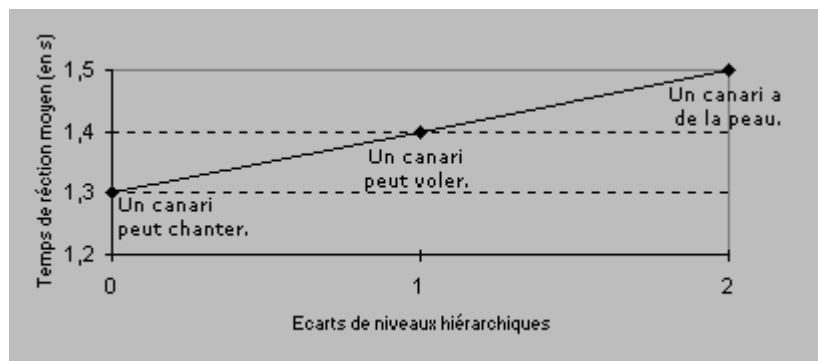


Figure 8 : Graphique TLC

Le modèle TLC de Quillian et Collins est séduisant mais d'autres expériences menées ultérieurement ont conduit à restreindre la portée de ce modèle et ont permis l'émergence d'un autre modèle qui met en exergue la notion de typicité.

Le point de vue relativiste

Dans le modèle TLC, on suppose que tous les liens hiérarchiques ont une force égale. Par exemple, le lien entre oiseau et canari doit être équivalent au lien entre oiseau et autruche. Et pourtant, il est plus rapide de vérifier qu'un canari est un oiseau qu'une autruche est un oiseau. Certains concepts sont plus représentatifs que d'autres. L'homogénéité du modèle TLC est remise en cause. Le modèle TLC est basé sur la logique : il stipule qu'un item est un exemplaire d'un concept donné si, et seulement si, tous les traits nécessaires à la définition du concept, s'appliquent à l'item. Réciproquement tout item qui ne possède pas tous les traits caractéristiques n'est pas un exemplaire du concept. Cela fonctionne très bien quand on reste dans le domaine des mathématiques mais dès que l'on aborde les catégories naturelles, les choses se compliquent. Par exemple, la capacité de voler est un trait caractéristique de beaucoup d'oiseaux (dont le canari) mais pas de tous (par exemple, l'autruche). Le philosophe L. Wittgenstein³⁸ a proposé l'idée de ressemblance de famille comme alternative au concept classique des traits définis de manière rigoureuse et rigide. Bien que tous les membres d'une même famille aient tendance à se ressembler, il n'est habituellement pas possible de définir un trait commun à tous les membres de la famille. On peut cependant envisager un membre typique de cette famille. Cette idée sous-entend la théorie de l'exemple-type ou du prototype. Il s'agit d'une approche de la formation des concepts qui caractérise ceux-ci en terme d'exemplaires typiques ou centraux lesquels tendent à avoir un nombre maximum de traits en commun avec les autres membres de la catégorie. Autrement dit, les prototypes servent à délimiter des classes. Les prototypes sont les exemplaires les plus semblables aux exemplaires de la même classe et par conséquent, sont les moins semblables aux exemplaires des autres classes. Ils maximisent la ressemblance intra-classe et minimisent la ressemblance inter-classe. L'appartenance à une classe est alors définie en terme de distance et non plus en terme de propriété.

De nombreuses recherches expérimentales dans les années soixante-dix-quatre-vingts confirment cette hypothèse. Citons en particulier la psychologue cognitive Eleanor Rosch qui est très active dans ce domaine. Avec C.B. Mervis, elle reprend l'idée de ressemblance de proche en proche développée par Ludwig Wittgenstein à propos des jeux³⁹. Ceux-ci forment une catégorie.

³⁸ Cité dans J.-F. Richard (1995) : Wittgenstein L. (1953), *Philosophical investigation*, Oxford, Blackwell.

³⁹ Cité dans J.-F. Richard (1995) : Rosch Eleanor, Mervis C.B. (1975), « Family Resemblances : Studies in the Internal Structure of Categories », *Cognitive Psychology*, 3, 573-605.

Pourtant, on aurait bien du mal à trouver un trait caractéristique commun à tous les jeux, du football à la réussite. Le football a une parenté avec le tennis (sports de balle), le tennis avec les échecs (confrontation de deux personnes), les échecs avec le bridge (jeux de réflexion), le bridge avec la réussite (jeux de cartes) et pourtant le football et la réussite ont peu de choses en commun !

Connaissances sur les actions

Autant la représentation des objets présente un champ de recherche étendu et riche en investigations, autant celle des actions en est à ses débuts et ne peut donc offrir que des résultats embryonnaires et est donc sujette à d'inévitables évolutions.

D'après J.-F. Richard⁴⁰, l'action peut être envisagée sous un double aspect :

1. procédural : le déroulement de l'action est détaillé ;
2. déclaratif : seul le résultat de l'action est énoncé.

Une raison de distinguer explicitement le résultat de l'action de son déroulement est que certains verbes d'action expriment seulement le résultat de l'action et pas du tout son déroulement. Ainsi, « se rendre à », précise seulement le but de l'action mais ne donne aucune indication explicite sur les moyens de transport utilisés. De même, « ranger par ordre alphabétique » exprime un changement d'état et précise le but poursuivi mais ne donne aucune indication sur la méthode de tri utilisée.

L'auteur met en évidence une autre phase dans la représentation des actions souvent implicite : les prérequis. Ceux-ci définissent quelles conditions doivent être réalisées pour que l'action puisse être exécutée. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, il faut préalablement faire d'autres actions pour pouvoir réaliser l'action en question. Par exemple, « Donne-moi une cuillère » peut consister à saisir la cuillère puis à la tendre au demandeur. Mais il peut aussi être nécessaire de se déplacer, d'ouvrir un tiroir etc.

J.-F. Richard fait l'hypothèse que les connaissances concernant les actions sont structurées comme les connaissances concernant les objets. La relation hiérarchique « catégorie-exemplaire » du monde des objets est remplacée par la relation « résultat-modes de réalisation » dans le monde des actions.

L'équivalence de ses deux relations est attestée par les faits suivants :

⁴⁰ Op.cit. Richard J.-F (1995).

Réseaux sémantiques

- On peut désigner un objet par un terme plus général (par exemple, oiseau à la place de canari). De même, le mode de réalisation d'une action implique le résultat de l'action : par exemple, marcher implique se déplacer.
- La mémorisation du résultat d'une action est meilleure que la mémorisation du moyen par lequel on l'a obtenu. Les recherches réalisées montrent que les actions sont d'autant mieux rappelées qu'elles sont situées plus haut dans le graphe hiérarchique.
- Il existe un effet de typicité pour les actions comme pour les objets. Par exemple, la consigne « joindre deux points » donne comme résultat typique un segment de droite. La construction d'une droite passant par les deux points est une réalisation atypique.

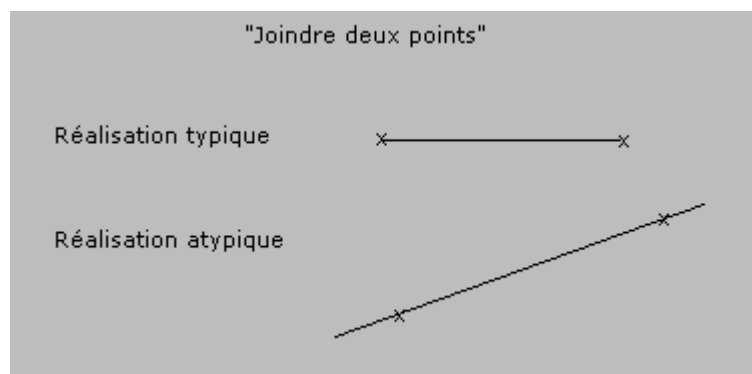


Figure 9 : Action typique & atypique

Dans les années soixante-dix, il apparaît que les structures hiérarchiques précédemment décrites ne peuvent suffire pour exprimer les connaissances décrivant des situations car à la fois des connaissances sur les objets et des connaissances sur les actions sont mises en jeu. Un nouvel « objet cognitif » apparaît : le schéma.

Théories des schémas

En 1975, trois articles paraissent, tous trois insistant sur l'importance des structures de connaissance qui dépassent le niveau du concept isolé, tel celui décrit dans les réseaux sémantiques. Bien que les termes utilisés varient d'un auteur à l'autre (cadre, script, schéma), ils recourent le même concept : celui de schéma, terme proposé initialement par Frédéric Bartlett⁴¹ dès 1932.

Des schémas et des hommes

Pour F. Bartlett, un schéma renvoie à une structure organisée qui intègre nos connaissances et nos attentes relatives à un aspect quelconque du monde. En quelque sorte, il s'agit d'un modèle d'une partie de notre environnement et de notre expérience. F. Bartlett considère que les processus d'apprentissage et de remémoration nécessitent du sujet un constant effort de compréhension. L'application d'un schéma est donc d'aider à la compréhension du monde par la comparaison d'une situation vécue avec des modèles de situations mémorisées. Il examine ses hypothèses en présentant à ses sujets un matériel structuré mais non familier, par exemple un conte indien nord-américain. Au cours du rappel, les sujets déforment l'histoire en omettant de manière typique les éléments qui ne correspondent pas à leurs attentes ou à leurs schémas antérieurs. Cette expérience semble donc valider ses hypothèses. Avec l'avènement du paradigme behavioriste, les propositions de F. Bartlett ne connaissent pas d'autres développements avant les années soixante-dix.

En 1975 donc, l'informaticien Marvin Minsky⁴² introduit un concept de même type qu'il nomme *frame* (cadre). Il lui semble que la plupart des théories, tant en IA (Intelligence Artificielle), qu'en psychologie sont dans l'ensemble trop spécialisées pour rendre compte de l'efficacité de la pensée du sens commun. Il pense que les unités du raisonnement, du langage, de la mémoire et de la perception doivent être plus grandes et plus structurées et que leur contenu doit être plus intimement connecté, pour pouvoir expliquer la puissance des activités mentales.

⁴¹ Cité dans Baddeley A. (1993) : Bartlett Frederic (1932), *Remembering*, Cambridge University Press, Cambridge.

⁴² Cité dans Baddeley A. (1993) : Minsky Marvin (1975), A framework for representing knowledge, in Winston P. H. (éd.), *The psychology of computer vision*, McGraw-Hill, New-York, pp 211-277.

L'article écrit par David Rumelhart⁴³ est centré sur une approche de la mémorisation des histoires utilisant une extension du schéma de F. Bartlett.

Quant à Roger Schank⁴⁴, il propose le concept de script qui est un schéma qui rassemble certaines de nos connaissances concernant les activités sociales.

Caractéristiques des schémas

Les caractéristiques essentielles des schémas diffèrent suivant les auteurs :

A. Baddeley en propose cinq :

1. Les schémas possèdent des variables : Par exemple, dans un schéma relatif à l'achat de quelques choses dans un magasin, l'échange d'argent et de marchandise constitue une donnée fixe, alors que la quantité d'argent et la nature des marchandises sont des variables.
2. Les schémas peuvent s'imbriquer les uns dans les autres : prenons l'exemple du schéma « tête », il contient un visage, des oreilles, de cheveux, etc. Le schéma « visage » contient les yeux, le nez, la bouche, etc. Le schéma « œil » contient l'iris, les paupières, les cils, etc.
3. Les schémas représentent des connaissances de tout niveau d'abstraction : leur champ d'application est très vaste. Ils sont employés pour représenter des concepts abstraits tels que la justice tout autant que des concepts très concrets comme l'organisation d'un visage.
4. Les schémas représentent des connaissances plutôt que des définitions : Ils contiennent « l'expérience » que l'on a du monde ; ils ne consistent pas en des règles abstraites.
5. Les schémas sont des mécanismes actifs de reconnaissance. Cela rejoint les conceptions de F. Bartlett pour lequel les processus d'apprentissage et de remémoration sont des processus actifs par essence. Toute personne produit un effort constant vers la signification.

Quant à J.-F. Richard, il nous en soumet quatre qui, bien entendu, ne recourent qu'en partie les propositions d'A. Baddeley :

⁴³ Cité dans Baddeley A. (1993) : Rumelhart David (1975), « Notes on a schema for stories », in Bobrow D. G. & Collins A. (eds), *Representation and understanding*, Academic Press, New-York, pp 231-236.

⁴⁴ Cité dans Baddeley A. (1993) : Schank R. C. (1975), *Conceptual information processing*, Amsterdam.

1. Les schémas sont des blocs de connaissances. Ils constituent des unités qui sont, d'une part, insécables et récupérées en mémoire comme telles, et d'autre part, ils ont autonomes par rapport aux autres connaissances. Les schémas définissent, non pas des propriétés intrinsèques des objets, mais des contextes dans lesquels se rencontrent les objets et les actions, contextes suffisamment fréquents pour être mémorisés.
2. Les schémas sont des objets complexes. Ils sont construits avec des objets élémentaires : concepts, actions, relations ou particularisés à partir de schémas plus généraux. Par exemple, le schéma événementiel « visite chez le dentiste » est un cas particulier du schéma plus général « consultation ».
3. Les schémas sont des structures générales et abstraites qui s'appliquent à un certain nombre de situations concrètes différentes. Ils contiennent un certain nombre de variables relatives aux éléments spécifiques de la situation. Certains schémas sont relativement spécifiques (les scripts ou schémas événementiels), par contre, d'autres sont très généraux comme les schémas qui décrivent la structure canonique d'une histoire.
4. Les schémas expriment des connaissances déclaratives. Ce sont des connaissances qui ne sont pas liées à une utilisation particulière mais peuvent servir à différentes situations : comprendre, réaliser, raisonner, etc.

Si nous comparons les caractéristiques des schémas proposés par les deux auteurs, nous pouvons observer qu'ils s'accordent sur plusieurs points :

Les schémas sont des objets cognitifs construits à partir d'objets élémentaires qui sont, en partie, fixés de manière à pouvoir s'accorder avec plusieurs situations présentant des traits communs et, en partie, variables de manière à correspondre à une situation donnée possédant des caractéristiques propres.

Les schémas peuvent se décliner suivant une structure hiérarchique : un schéma peut se décomposer en plusieurs autres ou être une particularisation d'un schéma plus général.

Les schémas peuvent être en relation tant avec des situations concrètes, par exemple, celles de la vie quotidienne qu'avec d'autres, abstraites, relevant de considérations plus théoriques comme la résolution de problème ou l'interprétation d'un texte.

Là, où leur vue semble diverger, c'est quand A. Baddeley les considère comme des mécanismes actifs de la connaissance alors que J.-F. Richard les appréhende comme des connaissances déclaratives. Mais, même considérés dans le cadre de cette deuxième option, les schémas sont des outils pour la compréhension et, ainsi, les deux avis se rejoignent.

Schémas et compréhension

J.-F. Richard distingue plusieurs processus de construction des représentations qui sont autant de sens du mot « comprendre ». Le premier est en relation directe avec l'utilisation des schémas.

- La construction d'une représentation par particularisation d'un schéma

Elle consiste à sélectionner un schéma et à en remplacer les variables par les informations spécifiques fournies par la situation. Le processus est guidé par les connaissances. Le résultat est un schéma particularisé. Dans ce cas, l'auteur propose deux fonctions possibles pour les schémas.

1. Une fois le schéma adéquat sélectionné, celui-ci permet d'inférer des informations manquantes ou non-explicites. Ce point a fait l'objet de nombreuses expérimentations. Après lecture d'un texte, on fait un test de reconnaissance de propositions dont les unes figurent dans le texte original et les autres pas, mais pouvant être inférées à partir d'un schéma. Il a été vérifié que des sujets ayant lu une histoire mettant en jeu un schéma-type, reconnaissaient à tort des actions typiques du schéma mais qui ne figuraient pas dans l'histoire et se déclaraient relativement certains de les avoir lus.
2. Une deuxième fonction du schéma, c'est de permettre d'intégrer un certain nombre d'éléments d'information dans une signification plus générale.

Selon les situations, on se trouve dans ou l'autre cas. On peut aller du schéma à ses composantes, du général au particulier ou faire l'inverse, aller du particulier au général.

Les autres processus reconnus par l'auteur ne font pas appel aux schémas mais à des constructions adaptées aux circonstances de la situation.

- La construction d'une structure conceptuelle

Quand la compréhension est réalisée à l'aide d'un schéma, on utilise des relations préconstruites pour relier entre elles les informations et les intégrer à des informations plus générales. Mais il n'existe pas toujours un schéma adéquat, il faut alors construire un réseau relationnel au fur et à mesure de l'appréhension de la situation.

- La construction d'un modèle particularisé de situation

A partir d'une situation spécifique, nous construisons un modèle particularisé dans ses moindres détails, à partir des informations fournies par la situation. Cette construction utilise des représentations imagées. Le cas typique de représentation particularisée est la construction d'un schéma ou d'une figure (en géométrie) représentant la situation d'un problème. Cette construction est une situation particulière compatible avec les données du problème.

- La construction d'une interprétation par analogie avec une situation connue

Cette construction fait appel à la mémoire et se trouve guidée par les connaissances. Ce qui est récupéré en mémoire peut être une information générale analogue à un schéma. C'est le cas lorsque la représentation est construite pour comprendre. L'information, alors récupérée en mémoire, sert de guide pour construire les relations entre les objets de la situation.

Bien que l'auteur n'en parle pas, nous pouvons formuler l'hypothèse que dans certaines conditions (répétitions de situations analogues), les diverses constructions dont il est question ou des parties de celles-ci, regroupant un certain nombre de ses composantes, se « calcifient » en schémas.

Dans les années quatre-vingts et quatre-vingt-dix, d'autres modèles sont apparus avec des visées explicites dans le champ de l'apprentissage. Ces théories n'ont pas pour vocation de remplacer celles des réseaux sémantiques et des schémas, mais plutôt de les compléter, les auteurs considérant ces dernières comme insuffisantes sur certains points. Nous en faisons une revue rapide.

Autres modèles cognitivistes

Les deux modèles dont il sera question sont organisés suivant des approches épistémologiques très différentes, sinon opposées : l'une, la théorie ACT, s'intègre dans une épistémologie structuraliste tandis que l'autre, la théorie de la flexibilité cognitive (Cognitive Flexibility Theory) se réclame ouvertement de l'épistémologie constructiviste.

Le modèle ACT*

D'après Greg Kearsley⁴⁵, ACT* (Adaptative Control of Thought) est une théorie cognitive développée par John Anderson (& al) centrée sur les processus relatifs à la mémoire.

ACT* distingue trois types de mémoires : la mémoire déclarative, la mémoire procédurale et la mémoire de travail.

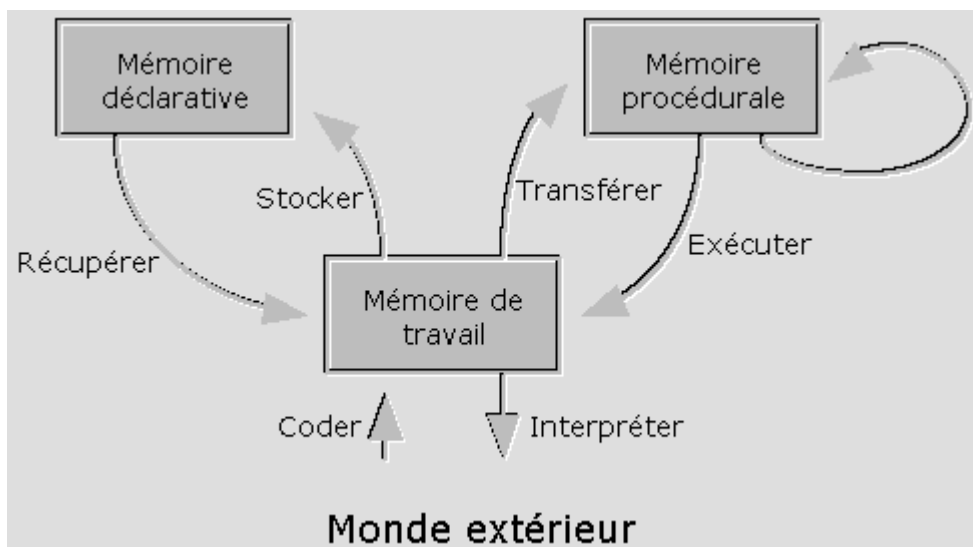


Figure 10 : Organisation de la mémoire suivant ACT*

1. La mémoire déclarative est constituée d'un réseau sémantique qui met en relation des propositions, des images et des séquences.

⁴⁵ Kearsley Greg (1999), « ACT* (J. Anderson) », *Explorations in Learning & Instruction: The Theory Into Practice Database*, <http://www.gwu.edu/~tip/anderson.html>

2. La mémoire procédurale représente les informations sous forme de règles de production. Chaque règle de production est composée d'un ensemble de conditions et de conclusions stockées dans la mémoire déclarative.
3. Tous les noeuds composant la mémoire à long terme sont à un certain niveau d'activation et la mémoire de travail est la partie de la mémoire à long terme la plus active.

Le psychologue cognitiviste Patrick Mendelsohn⁴⁶ nous donne les clefs du fonctionnement d'ACT* : « Dans son modèle connu sous le nom de code de ACT*, Anderson pousse l'analogie avec les systèmes artificiels de traitement de l'information jusqu'à proposer un modèle des processus d'acquisition de connaissances complètement formalisé. Les principes de base en sont simples :

1. les connaissances sous-jacentes à une compétence se présentent au sujet d'abord sous une forme déclarative (en général un exemple);
2. si, dans une nouvelle situation, cette connaissance est activée, elle doit être interprétée pour pouvoir produire une action compatible avec les données (par analogie si c'est un exemple);
3. lorsque l'étape 2 se répète, la connaissance devient progressivement « compilée » sous la forme d'une règle de production du type « Si condition A alors Action X ». Cette compilation est obtenue par suppression des détails de procédure intermédiaires relatifs au processus d'interprétation;
4. ces règles compilées sont ensuite renforcées par l'exercice suivant les principes classiques de l'automatisation.

Pour J. Anderson, une expertise aussi complexe que la programmation informatique peut se décrire comme l'application séquentielle de plusieurs centaines de règles indépendantes formées suivant ce principe. »

Cette théorie est à la base du développement de tuteurs intelligents. Un exemple historique et réussi dans le domaine des tutoriels nous est donné par J. Anderson (& al) à travers ses désormais célèbres « Geometry Tutor » et « Lisp Tutor ».

⁴⁶ Mendelsohn Patrick (1994), *Peut-on vraiment opposer Savoirs et Savoir-faire quand on parle d'apprentissage ?*, Entretiens Nathan - Sorbonne - 19-20 novembre 1994, Paris

http://tecfa.unige.ch/tecfa/publicat/mendel-papers/sorbonne_1.html

Reprenant un article d'Anderson (& al)⁴⁷, Scherly⁴⁸ nous détaille les termes de cette théorie dans le cadre de l'apprentissage du langage de programmation LISP :

1. « Les connaissances sous-jacentes à une compétence sont de type déclaratives. L'apprenant utilise l'observation et l'analogie pour résoudre un problème. Par exemple, l'étudiant remarque qu'en langage LISP, l'expression (* 27 32) permet de calculer le produit de 27 par 32. Par analogie, l'étudiant essaiera l'expression (+ 10 15) pour calculer la somme de 10 et 15.
2. Ayant découvert que cette façon d'exprimer les opérations arithmétiques est correcte, cette connaissance particulière prendra la forme d'une règle de production.
3. Ces règles de production se renforcent en fonction du nombre de fois qu'elles sont appliquées.
4. Finalement, une compétence telle que la programmation en langage LISP consisterait en l'acquisition de plusieurs centaines de règles de production indépendantes. La résolution d'un problème consiste ainsi en la mise en oeuvre séquentielle de ces règles de production.

Les auteurs ont mis à l'épreuve leur théorie en analysant plusieurs variables générées par l'interaction entre l'apprenant et un tuteur implanté dans un didacticiel d'apprentissage du langage LISP. Ce didacticiel comprend douze leçons, chacune étant composée d'une dizaine d'exercices. Le style de tuteur était celui d'un tutorat à feed-back immédiat : l'étudiant est suivi pas à pas dans sa résolution de problème. Dès que l'apprenant commet une erreur, le tuteur le lui fait remarquer et cette erreur doit être corrigée avant de pouvoir passer à l'étape suivante. Un cycle d'interaction entre le tuteur et l'étudiant se déroule de la façon suivante:

1. Le tuteur définit un premier pas de programmation ;
2. l'étudiant entre l'unité de code ;
3. le tuteur évalue cette entrée. Si la réponse est correcte il propose le pas suivant, si elle est incorrecte, le tuteur fournit un feed-back et redéfinit le même but.

Deux variables reflétant l'acquisition de compétences sont analysées:

⁴⁷ Anderson, John.R. and Corbett, A.T. (1990), « Acquisition of LISP Programming Skill », in *Foundation of Knowledge acquisition: cognitive models of complex learning*, Chipman and Meyrowitz editors, Kluwer Academic Publishers, 1-24

⁴⁸ Scherly Daniel (1997), *Mémoire de DES STAF*, TECFA, Université de Genève,
<http://tecfa.unige.ch/staf/staf9597/scherly/memoire/memoire.rtf>

1. Le temps de réponse: c'est l'intervalle de temps entre le moment où le tuteur est prêt à accepter un input et celui où l'étudiant envoie son bout de code ;
2. l'exactitude: c'est le nombre d'essais que l'étudiant utilise pour arriver à la bonne réponse.

Si l'on mesure ces deux variables en fonction du nombre d'exercices résolus, on ne trouve aucun indice d'acquisition de compétence. Par contre, si l'on mesure ces variables en fonction du nombre de fois qu'une règle de production a été appliquée on observe une belle courbe d'acquisition : c'est-à-dire que le temps de réponse diminue et l'exactitude augmente en fonction de l'augmentation du nombre de fois qu'une règle particulière est pratiquée.

Les résultats précédents ont soulevé plusieurs critiques, notamment que la contrainte à rester sur la bonne voie par le tuteur ne reflète pas des conditions normales d'apprentissage. Suite à ces critiques, les auteurs ont testé trois autres styles de tutorat :

1. Le tutorat d'alerte : dès que l'étudiant commet une erreur, celle-ci est portée à son attention, cependant l'étudiant peut l'ignorer et continuer à écrire son programme.
2. Le tutorat à la demande: l'étudiant n'est pas interrompu par le tuteur, cependant l'étudiant peut demander un feed-back à n'importe quelle étape de l'exercice.
3. Pas de tuteur: les étudiants doivent résoudre les problèmes seuls.

L'analyse des mêmes variables que précédemment a montré que le temps nécessaire à la résolution d'une série d'exercices était inversement proportionnel au taux d'interventions du tuteur. Ainsi la différence entre les deux extrêmes, soit feed-back immédiat et pas de tuteur, peut varier de 3 à 1 pour le temps de résolution. Cependant, aucune différence quant à l'acquisition de la compétence finale (mesurée par post-test) n'a été observée entre les différents environnements d'apprentissage.

Les auteurs concluent que l'apprentissage est fonction du nombre de fois que l'étudiant est passé avec succès au travers d'exercices et non comment l'apprenant a trouvé les solutions. Cette méthode est extrêmement dirigiste mais apparemment efficace. »

Les applications informatiques d'ACT* ont obtenu de remarquables résultats dans le contexte de la programmation LISP, autrement dit dans un domaine très structuré : LISP est un des langages de l'Intelligence Artificielle classique (non connexionniste). Autrement dit, ce modèle est efficace dans un contexte favorable, mais nous nous pouvons nous interroger sur sa validité dans des domaines moins bien structurés, autrement dit plus complexes.

C'est pour répondre à cette interrogation que R. Spiro (& al) nous propose un autre modèle d'obédience expressément constructiviste : la théorie de la flexibilité cognitive.

La théorie de la flexibilité cognitive

Partant du constat que les théories cognitives et de l'apprentissage sont inopérantes pour les domaines complexes et mal structurés (*ill-structure domains*) de la connaissance, Rand Spiro, Paul Feltovich, Richard Coulson & al⁴⁹ proposent dès la fin des années quatre-vingts une théorie plus pragmatique qu'herméneutique, la théorie de la flexibilité cognitive avec l'objectif de palier à ces insuffisances. Ils considèrent que l'enseignement « traditionnel » très structuré est efficace dans le cadre d'apprentissages élémentaires mais qu'il ne l'est pas du tout dans le cadre des enseignements d'un niveau avancé. Ils reprochent en particulier au précédent l'échec dans la fonction de transfert des connaissances et des savoir-faire d'un domaine à un autre.

Parmi les échecs de l'enseignement traditionnel, ils relèvent :

- l'échec des objectifs que se fixe l'enseignement pour des notions avancées. Lors d'évaluations, la non-compréhension de beaucoup de concepts prévaut chez les étudiants alors qu'ils ont reçu un enseignement habituel.
- la *sur-simplification* qui est le point commun de beaucoup d'enseignements déficients, pratique réductrice qui prend différentes formes :
 1. les *pratiques additives* où des entités complexes sont étudiés par parties ou item supposés garder leurs caractéristiques, une fois réassemblées ;
 2. Les *pratiques discontinues* qui décomposent des processus continus en processus distincts ;
 3. les *pratiques de compartimentation* qui traitent des items isolément alors qu'ils sont étroitement en relation.

La *sur-simplification* provoque en outre des connaissances erronées et durables.

Les méthodes d'apprentissages que préconisent les auteurs sont basées sur le développement d'aptitudes cognitives flexibles soit à partir de nombreuses

⁴⁹ Spiro Rand, Feltovich Paul, Jacobson Michael, Coulson Richard (1992), « Cognitive Flexibility, Constructivism, and Hypertext : Random Access Instruction for Advanced Knowledge Acquisition, in In T. M. Duffy & D. H. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction : a Conversation*, pp. 57-75, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, <http://www.ilt.columbia.edu/ilt/papers/spiro.html>

situations mettant en jeu les mêmes concepts, soit à partir d'une situation qui permet d'atteindre des objectifs différents.

Michael Jacobson & al ⁵⁰proposent des apprentissages basés sur des études de cas utilisant les procédés suivants :

- utiliser de nombreux modèles de représentation des connaissances ;
- mettre en pratique les concepts théoriques pour appréhender la connaissance en action ;
- démontrer la nature complexe de la connaissance et de son organisation en réseau ;
- mettre l'accent sur les connaissances construites plutôt que sur les rappels de mémoire ;
- introduire tôt les notions de complexité à la fois des savoirs et de leurs représentations ;
- promouvoir les méthodes actives d'apprentissage.

Cette théorie s'inspire de la métaphore proposée par Wittgenstein⁵¹ : le quadrillage, le parcours en long et en large (criss-crossing) du paysage conceptuel. Cette métaphore suggère que l'apprentissage repose sur l'appréhension du domaine depuis plusieurs points de vue intellectuels, de la même façon que pour bien connaître une région, il faut la parcourir en long et en large, la contempler depuis plusieurs points de vue

Pour cela, ils préconisent l'usage de l'ordinateur de par ses capacités à produire des environnements flexibles et en particulier les systèmes hypertextuels qui ont la capacité de représenter les domaines du savoir mal structurés.

Cette dernière théorie, plus récente que les précédentes n'est pas certainement pas la dernière en date. Le monde de la recherche anglo-saxonne est en pleine effervescence :

Elizabeth Murphy⁵² nous en propose quelques-unes... :

- *Computer-Supported Intentional Learning Environments*
- *Advanced Learning Environments*

⁵⁰ Jacobson Michael, Maouri Chrystalla, Mishra Punyashloke, Kolar Christopher (1996), Learning with hypertext learning environments : theory, design and research », *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5(3/4), 239-281, <http://lpsl.coe.uga.edu/roc/papers/JEMH96/JEMH96.html>

⁵¹ Wittgenstein Ludwig (1953)

⁵² Murphy Elizabeth (1997), *Environnements d'apprentissage, lectures & réflexions*, Université Laval, Montréal, <http://www.fse.ulaval.ca/fac/ten/cours/html/leaenv.html>

Réseaux sémantiques

- *System-Mediated Environments*
- *Asynchronous Learning Environments Situated learning environments*
- *Intelligent Learning Environments*
- *Network Learning Environments*
- *New Media Learning Environments*
- *Virtual Learning Environments*
- *Research on Advanced Learning Environments*
- *Sample Learning Environments*
- *Computer-Supported Intentional Learning Environments*

Bien qu'elles prennent en compte le concept de réseau de manière explicite : les réseaux de neurones, et malgré son importance en sciences cognitives, nous n'évoquerons pas davantage les théories du connexionnisme⁵³ car elles nous semblent pouvoir difficilement servir de modèle dans le cadre des situations d'enseignement-apprentissage.

⁵³ Varela Francisco J. (1996), *Invitation aux sciences cognitives*, Editions du Seuil, coll. Points Sciences (réédition), Paris.