

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE II : CADRE THEORIQUE

II.1. INTRODUCTION AU CADRE THEORIQUE

Toute recherche qui ambitionne de se hisser à un niveau scientifique doit être menée dans un cadre théorique explicite. Ce cadre théorique permet en effet de préciser le sens donné aux concepts manipulés. Il assure une lisibilité du texte tout en permettant une articulation entre les différentes parties, de manière à faire du travail un ensemble cohérent, permettant ainsi une interprétation pertinente des données recueillies. C'est une des conditions à remplir pour partager les résultats avec la communauté scientifique. Popper (1973) parlerait de la condition de falsifiabilité.

Ainsi, après avoir justifié notre démarche, nous passerons en revue les champs théoriques qui ont analysé les processus, les phénomènes et les concepts en jeu dans notre recherche.

Dans cette perspective, la revue de la littérature nous a montré que la résolution de problème, dans le cadre de l'enseignement et l'apprentissage de la physique et de la chimie, convoque au moins deux champs théoriques qui interfèrent dans l'analyse des processus éducatifs : la psychologie, et l'épistémologie des sciences. Ces deux domaines de connaissance seront donc revisités en rapport avec la résolution de problème en général, en physique et chimie en particulier.

Mais de manière plus spécifique, notre recherche s'inscrit dans le champ de la didactique de la physique et de la chimie. Ainsi, aussi bien au niveau théorique qu'au niveau de la recherche, le point sera fait, dans le but de préciser l'objet de notre recherche, et de justifier notre démarche méthodologique. Le cadre théorique, notamment son volet spécifique, permettra de bien camper la recherche dans le champ de la didactique de la physique et de la chimie, et plus particulièrement sous l'angle de la résolution de problème.

II.2. CADRE THÉORIQUE GÉNÉRAL

II.2.1. Justification du cadre théorique général

La résolution de problème peut être décrite comme une activité cognitive finalisée, c'est-à-dire au service d'une tâche à effectuer dans une situation donnée (Richard, 1990). Elle fait appel à une activité psychique et à des processus intellectuels mettant en jeu des connaissances. Celles-ci sont également acquises ou construites par le biais de processus intellectuels antérieurs. Notre recherche s'intéressera donc à l'analyse de ces processus à travers les différents courants psychologiques les plus pertinents qui se sont intéressés aux phénomènes éducatifs en général.

La résolution de problème peut ainsi être abordée sous l'angle psychologique, en relation avec les processus d'acquisition ou mieux, de construction du savoir scientifique. C'est pour cette raison que les activités de résolution de problème sont très valorisées dans les activités scolaires destinées à guider l'apprentissage ou à évaluer les acquisitions des élèves. Ceci est particulièrement vrai pour les disciplines scientifiques telles que les mathématiques, la physique et la chimie.

Cet angle d'attaque met ainsi en avant un ensemble de concepts qu'il nous faudra passer en revue: enseignement, apprentissage, connaissances, problème, résolution de problème. Certains concepts sont naturellement articulés avec d'autres concepts pour en structurer le champ sémantique ou en préciser le contexte pragmatique.

L'enseignement étant indissociable de l'apprentissage, le cadre théorique devra expliciter l'interaction entre ces deux concepts dans leur rapport avec la résolution de problème.

Ces interactions mettant en jeu des connaissances en amont comme en aval, le cadre théorique devra également prendre en charge la question des connaissances, de leurs modes d'acquisition, de stockage et de transformation, et de leur utilisation dans le processus de résolution de problème.

Il apparaît ainsi indispensable, pour fonder notre recherche, tant du point de vue théorique que méthodologique, de revisiter les concepts-clés ainsi identifiés à la lumière des théories de la connaissance et du comportement humain, c'est-à-dire des théories psychologiques, mais en y adjoignant au besoin un éclairage épistémologique.

Cependant, compte tenu des interactions complexes entre ces courants, notre démarche ne sera pas linéaire. La revue des concepts dépendra des cadres théoriques revisités et de la place accordée dans ces courants aux concepts clés de notre recherche.

En cela, nous tiendrons compte de la réalité éducative. Celle-là nous révèle que les activités éducatives sont au carrefour de fondements multiples. Ceux-ci, explicités ou non, déterminent des choix, des prises de décision, des stratégies, des méthodes et des innovations. La psychologie occupe une place privilégiée parmi les nombreux fondements du champ éducatif.

Depuis l'émergence au 15^{ème} siècle du néologisme « psychologie » attribué à l'Allemand Mélanchton pour désigner l'étude de l'âme et de l'activité mentale, jusqu'à l'accès au statut de science, la psychologie a eu pour objet une question centrale : pourquoi l'être humain agit-il comme il le fait ? (Raynal et Rieunier, 1997).

Pour répondre à cette question-clé, divers points de vue et approches se sont succédés, ou ont cohabité. Une analyse chronologique des différentes approches psychologiques s'avère donc difficile, surtout si on prend en compte le point de vue de Popper (1973) sur la logique de la découverte scientifique: la présentation à posteriori des « découvertes » scientifiques correspond rarement à la chronologie de leur avènement. Il est donc indispensable, dans le cadre de cette recherche, de disposer d'une grille de lecture explicite de ces différentes approches psychologiques.

Dans cette perspective, Gagné (1985) décrit le champ de la psychologie dans un espace à deux dimensions croisant des niveaux d'analyse et des types de comportement. Les comportements selon Gagné, ont trois modalités : le comportement social, le comportement intellectuel, le comportement psychomoteur. Ces comportements sont croisés avec deux niveaux d'analyse : le niveau cognitif et le niveau affectif.

Nous proposons d'ajouter comme troisième niveau d'analyse, le niveau psychomoteur. On obtient ainsi un tableau à double entrée symétrique. Le croisement de chaque niveau d'analyse avec un type de comportement permet de délimiter un objet du champ de la psychologie. Le tableau suivant permet de décrire l'espace psychologique selon Gagné(1985) , élargi au troisième niveau d'analyse que nous avons introduit.

Tableau 10 : description de l'espace psychologique (adapté de Gagné, 1985)

	Comportement social	Comportement intellectuel	Comportement psychomoteur
<i>Niveau affectif</i>	1	2	3
<i>Niveau cognitif</i>	4	5	6
<i>Niveau psychomoteur</i>	7	8	9

La première colonne du tableau donne différents niveaux d'analyse, alors que la première ligne spécifie les types de comportement. Ainsi chaque case correspondant à un numéro permet de définir une approche psychologique.

Par exemple, **la case 1** croise le niveau affectif et le comportement social. Cette case définit ainsi la partie de la psychologie qui s'intéresse aux interactions entre les comportements au sein d'un groupe et l'affectivité. Elle constitue en elle-même un cadre problématique implicite. Elle permet par exemple de poser un certain nombre de questions :

- Comment l'affectivité des individus peut-elle influencer sur le fonctionnement d'un groupe ?
- Les groupes peuvent-ils être caractérisés par des comportements affectifs spécifiques ?

La **case 5** quant à elle met en relation le niveau d'analyse cognitif et le comportement intellectuel. Comme nous le verrons plus loin, cette case permet de définir le champ de la psychologie cognitive.

Il faut souligner tout de suite que du fait de la globalité du comportement humain, cette décomposition ne met en évidence que des cas limites. L'analyse la plus complète du comportement humain devra certainement faire appel à plusieurs niveaux.

De manière plus opérationnelle Tardif (1992) définit trois courants psychologiques : la psychologie béhavioriste, la psychologie humaniste et la psychologie cognitive. Ces différents courants psychologiques identifiés par Tardif (1992) s'intègrent parfaitement dans l'espace proposé par Gagné(1985). C'est ainsi que la psychologie béhavioriste est au croisement du niveau d'analyse psychomoteur et du comportement intellectuel. La psychologie humaniste s'intéresse au comportement intellectuel analysé sous l'angle affectif. Quand à la psychologie cognitive, elle croise le comportement intellectuel et le niveau d'analyse cognitif.

Cependant, malgré leur caractère opérationnel, les grilles de lecture du champ psychologique ne rendent compte que de manière partielle, de la diversité et de l'imbrication des différents démembrements de la psychologie telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui.

La revue de la littérature nous a permis, malgré la complexité soulignée plus haut, d'identifier une constante dans les méta-analyses du champ de la psychologie en relation avec l'éducation : la dichotomie entre le béhaviorisme et le cognitivisme. Entre ces deux pôles constituant des cas limites, plusieurs courants transitoires se sont naturellement développés.

Si le béhaviorisme se caractérise par une relative homogénéité, par contre le cognitivisme s'est rapidement partagé entre le constructivisme et le modèle du traitement de l'information. Cette partie du cognitivisme est souvent désignée par l'expression « psychologie cognitive », ce qui ne facilite pas une bonne lisibilité du champ de la psychologie chez le lecteur non averti.

Puis la cognition, après avoir été confinée dans une perspective individuelle se voulant purement objective, s'est enrichie progressivement des dimensions affective et sociale ouvrant la voie à de nombreux courants. Le modèle de base restait cependant essentiellement « computationniste », s'appuyant sur l'architecture informatique « de type Von Neumann » mettant en avant la représentation symbolique (Tisseau, 1996).

Mais de nos jours, la question de la cognition est abordée de plus en plus dans une perspective connexionniste associée à une intégration de plusieurs angles d'analyse dans une sorte de « galaxie » cognitiviste appelée sciences cognitives.

Après avoir passé en revue l'évolution de ces courants psychologiques dans leurs rapports avec l'éducation en général, nous mettrons en évidence le fait qu'au-delà des diversités d'approche, le cadre théorique peut être ramené à une dichotomie entre le béhaviorisme et le constructivisme sous l'angle psychologique ou d'un point de vue épistémologique (Astolfi, 2001).

II.2.2. LE BÉHAVIORISME

Dans cette partie seront présentées successivement, les bases théoriques du béhaviorisme, ses applications à l'éducation de manière générale et ses limites dans le contexte de l'enseignement de la physique et de la chimie.

II.2.2.1. Les bases théoriques du béhaviorisme

Le béhaviorisme est une théorie psychologique héritière d'une vieille doctrine philosophique axée sur la vie mentale : l'associationnisme. Fondé par Aristote, l'associationnisme a été ensuite réactualisé par John Locke et David Hume au 17^{ème} siècle, puis par Stuart Mill au 19^{ème} siècle (Raynal et Rieuner, 1997). Pour ces philosophes, la vie mentale est constituée de deux éléments premiers issus des sensations : les idées et les images. La doctrine de l'associationnisme considère que la vie mentale est régie par les lois de l'association de ces deux éléments, d'où son nom.

L'étude des rapports de ressemblance, de contiguïté ou d'opposition entre les idées et les images constitue l'objet de l'associationnisme, que l'on désigne aussi sous le nom d'atomisme. Le principal moyen d'investigation de la psychologie conçue comme l'étude de la vie mentale est l'introspection.

Mais au début du 20^{ème} siècle, un nouveau courant a repris la notion d'association, en la séparant de celle d'idée, élément non observable, pour établir le schéma S/R (association stimulus/réponse) : c'est le béhaviorisme.

Le courant béhavioriste doit beaucoup aux travaux de Fechner (1860), physicien et philosophe allemand, qui entreprit dans les années 1860-1880, des expériences de psychophysique pour étudier les sensations.

Pour contourner les difficultés liées à la mesure des sensations, Fechner se contente de fixer l'intensité de l'excitant et de noter le moment d'apparition de la sensation. Fechner venait ainsi de mettre au point une démarche expérimentale permettant d'étudier des comportements sans faire appel à l'introspection. Il s'est contenté de proposer différents stimuli et d'observer les réponses.

Fechner considère alors l'individu comme une boîte noire, dont il ignore le fonctionnement. Mais constatant qu'en proposant des stimuli particuliers à l'entrée, il obtient toujours les mêmes résultats à la sortie, il conclue qu'il peut parfaitement prévoir certains comportements.

Les expériences de Fechner sont connues et bientôt des psychologues (Thorndike et Watson) proposent de faire du comportement observable l'objet unique de la psychologie.

Watson (1924) est généralement présenté comme le « père » du béhaviorisme. Son article publié en 1913 est en effet considéré comme le manifeste de cette nouvelle école psychologique.

Watson s'insurge contre les pratiques de l'introspection et affirme que la psychologie ne doit pas être la science de la vie mentale, mais la science du comportement. (« behaviour » en anglais). L'objet de la psychologie devient alors le comportement observable des individus et non l'étude des idées, des motivations, des états de conscience, des sensations et éléments internes que le psychologue devrait, selon Watson s'interdire, désormais, d'étudier.

Par ailleurs, le béhaviorisme n'étudie pas le comportement comme une entité isolée. Par essence associationniste, le béhaviorisme s'intéresse au comportement dans sa relation avec l'environnement, c'est-à-dire un ensemble de faits qui peuvent influencer ou déterminer la conduite du sujet observé. L'environnement étant comme le comportement, une réalité complexe, l'observateur s'attachera à y discerner certaines composantes. Les composantes de l'environnement que le psychologue s'efforce d'isoler pour en déterminer les effets sont appelés stimuli (Houziaux, 1972).

Du point de vue méthodologique et afin de quantifier les données de l'observation expérimentale, on choisira des stimuli mesurables (en intensité, en fréquence), donnant lieu eux-mêmes à des réponses mesurables (par leur intensité, leur latence ou temps de réponse, leur fréquence, leur durée, leur résistance à l'extinction (persistance du comportement après la disparition du stimulus)).

La psychologie conquiert enfin un statut de discipline « scientifique ». Malheureusement elle allait ignorer, pendant un quart de siècle, deux caractéristiques importantes du comportement humain : l'orientation vers un but, et l'intentionnalité.

Dans ce courant du béhaviorisme radical de Watson, l'individu n'est qu'une boîte noire et les concepts de stimulus, réponse, renforcement deviennent les éléments clés de l'explication du comportement humain.

Watson (1924) argumente sur un ton sarcastique en faveur du béhaviorisme en s'attaquant avec vigueur aux tenants de la psychanalyse :

« La conscience, oui, tout le monde doit savoir ce qu'est la conscience !... Quand nous voulons faire quelque chose, quand nous avons l'intention de faire quelque chose, ou quand nous désirons faire quelque chose, nous sommes conscients. Tous les chercheurs en psychologie introspective sont illogiques. En d'autres termes, ils ne disent pas ce qu'est la conscience, mais commencent par mettre des choses dedans à l'aide de suppositions ; ensuite, lorsqu'ils entreprennent d'analyser la conscience, ils y trouvent naturellement ce qu'ils y ont mis » (p.191).

Cependant, même si Watson est considéré comme le « père » du béhaviorisme, Thorndike avant lui, avait déjà préconisé que la psychologie se limitât à l'étude du comportement observable, faisant abstraction de toute hypothèse sur le comportement mental, considéré comme inaccessible.

Les travaux de Thorndike entamés en 1898 sur l'intelligence animale (travaux sur les chats), lui ont permis de formuler en 1908 la loi qui le rendit célèbre : la loi de l'effet. La première version de cette loi s'énonce ainsi (Lutrin, 1971) :

« Tout comportement qui conduit à un état satisfaisant de l'organisme à tendance à se reproduire ; tout comportement qui conduit à un état insatisfaisant de l'organisme a tendance à s'éteindre » (pp.242-239).

Mais sous l'épreuve des faits, dans certains cas, des comportements renforcés négativement peuvent réapparaître, Thorndike se voit obligé de reformuler cette loi. La loi de l'effet s'énonce alors comme suit (Lutrin, 1971): *« tout comportement qui conduit à un état satisfaisant de l'organisme a tendance à se reproduire »(pp.242-239).*

Malgré l'importance des contributions de Thorndike et Watson, Skinner (1938) fut le représentant le plus célèbre et le plus important du courant béhavioriste aux Etats Unis et dans le monde, par son influence sur l'éducation.

S'inspirant des travaux de Thorndike sur les chats, Skinner conduit dans la période 1930-1940 plusieurs séries d'expériences sur les rats. Utilisant comme tout béhavioriste la chaîne « stimulus/réponse/renforcement », il met au point expérimentalement le concept de conditionnement opérant, qui se distingue ainsi du conditionnement répondant de Pavlov (ou conditionnement pavlovien). Conditionner au sens psychologique, c'est établir un comportement nouveau chez l'homme ou chez l'animal. Skinner conditionne un comportement volontaire (appuyer sur un levier pour obtenir de la nourriture) alors que Pavlov conditionne un réflexe (la salivation).

L'utilisation du conditionnement opérant, a permis à Skinner d'obtenir des animaux des comportements étonnants, comme par exemple les pigeons qui jouent au ping-pong... Skinner retrouve avec le conditionnement opérant les mêmes phénomènes qu'avec le conditionnement répondant de Pavlov : discrimination, extinction, généralisation.

Fort de ce succès avec les animaux, Skinner passe ensuite à l'expérimentation sur l'homme. Il postule que les lois valables pour l'animal sont également valables pour l'homme. Skinner imagine alors pour l'être humain, une méthode d'enseignement qui appliquerait les mêmes principes : c'est la création de l'enseignement programmé (Houziaux, 1972).

Le béhaviorisme allait par la suite exercer une grande influence sur les systèmes éducatifs.

II.2.2.2. Béhaviorisme et éducation

Le paradigme béhavioriste a eu et continue d'avoir une grande influence dans le domaine de l'éducation et de la formation. Cette influence s'est manifestée dans la conception de l'enseignement et de l'apprentissage (modèles pédagogique de type algorithmique, enseignement programmé), dans les stratégies de conception et de mise en œuvre des projets éducatifs (structuration des contenus, définition d'objectifs,

élaboration de taxonomies, évaluation), dans la formation des enseignants par le micro-enseignement (Wagner, 1988; Altet et Britten, 1983).

II.2.2.2.1. Béhaviorisme, enseignement , apprentissage

L'apprentissage, au sens béhavioriste consiste à s'exercer à associer la réponse adéquate (R) à un stimulus (S) donné. A partir d'expériences menées dans des conditions contrôlées, des lois de l'apprentissage ont été établies : les lois du renforcement et du conditionnement.

L'apprentissage au sens béhavioriste met en évidence la nature associationniste de cette approche. En effet les comportements souhaités sont, pour les besoins de leur acquisition par l'apprenant, associés à des contextes spécifiques destinés à favoriser leur manifestation.

Les connaissances au sens béhavioriste sont constituées par l'ensemble des réponses adéquates dont dispose un sujet face à des stimuli spécifiques. Le renforcement et le conditionnement sont destinés à permettre au sujet l'acquisition d'une batterie de réponses appropriées à des stimuli. Cela explique les deux caractéristiques des connaissances au sens béhavioriste: elles sont cumulatives et même quand elles sont complexes on peut les décomposer en éléments simples.

Ainsi un problème au sens béhavioriste est posé à un individu lorsqu'il doit trouver la réponse (R) adaptée à un stimulus (S) donné. Dès lors la résolution de problème consiste en la sélection par le sujet, parmi les réponses dont il dispose, d'une réponse adaptée au stimulus présenté. La résolution de problème dans ce courant n'est que le prolongement de l'apprentissage (Shepard, 1966; Joshua et Dupin, 1993).

Mais cette vision peut-elle prendre en charge les tâches complexes ?

Dans l'étude de ces tâches complexes, les béhavioristes ont été obligés d'envisager un enchaînement de séquences S-----→ R. On retrouve là le principe de décomposition du complexe en éléments simples. Mais lorsqu'on cherche à justifier leur enchaînement et leur régulation on est obligé de s'intéresser aux processus mentaux, et même d'introduire une hiérarchie. C'est là une des limites du béhaviorisme (Kleinmuntz, 1965).

Malgré le caractère simpliste de cette approche telle qu'elle peut nous apparaître aujourd'hui, le béhaviorisme a dominé la psychologie sur une période d'un demi-siècle (1920-1970). Il a eu cependant et continue d'avoir une influence réelle sur les systèmes éducatifs, parfois à l'insu des utilisateurs de méthodes ou techniques dans la conception et la mise en œuvre de projets éducatifs. (Baars, 1986).

En effet, de nombreux systèmes taxonomiques élaborés à la suite de celui de Bloom (1969), et des modèles variés d'inspiration béhavioriste, ont été à l'origine de techniques et d'approches pédagogiques encore en vigueur dans de nombreux pays, dans l'élaboration des curricula, dans l'enseignement (renforcement, feedback, enseignement programmé, enseignement modulaire, décomposition de certains titres universitaires en unités de valeurs cumulables), dans la formation des enseignants (pédagogie par objectifs : Hameline, 1979) ; dans la recherche en éducation encore dominée par le paradigme processus/produit renforcé par le développement de méthodes de traitements statistiques parfois très complexes.

Ainsi la taxonomie de Bloom d'inspiration fortement béhavioriste (Bloom et al., 1956), et ses développements et adaptations ultérieurs ont particulièrement marqué la rénovation des programmes scolaires et les méthodes d'enseignement préconisées.

Dans sa taxonomie des objectifs cognitifs Bloom distingue trois(3) grandes catégories : la connaissance d'informations isolées, la connaissance des manières de traiter l'information et la connaissance de généralisations et de théories.

Chacune de ces grandes catégories de connaissances est subdivisée respectivement en deux, cinq et deux sous catégories. La classification de Bloom va ainsi de la connaissance des terminologies à celle des synthèses et des théories.

La nécessité de faire des observations et des mesures rigoureuses sur des comportements définis de manière à découvrir les principes et les lois s'est traduite au niveau de la conception des curricula et dans l'enseignement par un morcellement des tâches d'apprentissage proposées aux apprenants.

L'enseignement programmé est peut-être la forme la plus achevée de cette approche de l'apprentissage (Houziaux, 1972).

II.2.2.2.2. L'enseignement programmé

Il existe deux grands types d'enseignement programmé : l'enseignement programmé linéaire (Skinner) et l'enseignement programmé ramifié (Crowder).

Skinner, après ses études sur l'apprentissage animal, propose dans les années 50-60, de construire un cours qui respecte la plupart des lois de l'apprentissage (plutôt des principes généraux) connues à cette époque :

- la loi de l'activité de l'apprenant
- la loi de l'effet (Thorndike)
- la loi de la connaissance immédiate des résultats (renforcement)
- la loi des petites étapes...

Persuadé que si l'on conçoit un cours de cette façon, les élèves apprendront presque sans s'en apercevoir Skinner propose :

- de diviser la difficulté en difficultés élémentaires (petites étapes),
- de proposer peu d'informations à la fois (limiter le contenu)
- de poser des questions visant à rendre l'apprenant actif

de faire produire la bonne réponse afin que l'apprenant soit en permanence renforcé positivement.

Skinner applique ainsi un principe central de ses positions théoriques : ne jamais provoquer d'erreurs chez l'apprenant, car l'erreur, pense-t-il est néfaste pour l'apprentissage. Le statut de l'erreur apparaîtra comme une différence fondamentale entre le béhaviorisme et le constructivisme.

En conséquence, un cours programmé au sens de Skinner n'est jugé valable que si 90% des élèves auxquels il est destiné, répondent juste à 90% des questions. Tant que ce résultat n'est pas atteint, il faut reprendre la conception du cours programmé, le tester, le modifier, le tester à nouveau, etc. Ce module de cours programmé est linéaire car on ne peut passer à la question suivante (à l'item suivant) sans avoir répondu à celle qui la précède. L'erreur pour Skinner étant néfaste, le cours programmé doit être construit en conséquence. Avec le cours programmé linéaire nous sommes bien sûr dans le droit fil de la philosophie béhavioriste.

Crowder (1958) fut une autre figure de proue de l'enseignement programmé (Stones, 1973). Mais, à l'inverse de Skinner, il pense que l'erreur peut être bénéfique si l'élève est immédiatement informé de celle-ci, s'il en connaît les causes, et s'il a les moyens de la corriger. Crowder propose donc que les éléments d'information soient suivis d'une question et d'une série de trois ou quatre réponses possibles dont une seule est bonne en général. C'est la technique du QCM (questionnaire à choix multiples), doublée généralement de la technique du livre brouillé.

L'enseignement organisé sur ces principes est appelé enseignement programmé ramifié par opposition à l'enseignement programmé linéaire de Skinner.

On le verra plus tard, ce type d'enseignement programmé est beaucoup plus proche des thèses cognitivistes que l'enseignement programmé linéaire.

Une variante de l'enseignement programmé ramifié a été mise au point par Kay (Kay et al. 1968), qui s'est inspiré des idées de Crowder : c'est l'enseignement programmé ramifié avec skip jumping

Dans ce type de programmes, certains items sont des items orienteurs. Si l'apprenant répond juste à ces items, il saute certaines parties du programme car sa réponse prouve qu'il connaît déjà la partie qui va suivre.

Les principes appliqués dans l'enseignement programmé ont sans aucun doute contribué positivement à l'évolution de l'enseignement. Selon Monique Linard (1990), « on retiendra en particulier :

- l'individualisation du rythme d'apprentissage ;
- l'importance de l'analyse préalable en termes d'objectifs comportementaux explicites, des contenus et des buts pédagogiques poursuivis, ce qui a été à l'origine du courant pédagogique connu sous le nom de pédagogie par objectif (PPO) ;
- le recours exclusif, contre le principe aversif de la sanction par l'échec, au renforcement positif et aux dispositifs induisant un maximum de chances de réussite pour l'élève ;
- la vérification immédiate de la correction des réponses ;
- et surtout, ce déplacement remarquable de responsabilité qui pose que l'erreur chez l'apprenant est autant l'indicateur d'un défaut du programme (et du maître et du programmeur) que celui d'un défaut de l'élève » (Linard, 1990, p. 105).

Cependant le béhaviorisme s'est heurté à la compréhension des comportements cognitifs complexes. Il s'est montré inefficace dans l'apprentissage des concepts, des principes et des règles et de la résolution de problème ou encore l'apprentissage par problème. Ainsi, il a été incapable d'expliquer le phénomène du langage, un phénomène important dans les sociétés humaines (Skinner, 1957 ; Chomsky, 1957, 1959, 1965 ; Miller, 1965).

Mais le béhaviorisme montre davantage ses limites si on cherche à l'utiliser pour analyser et interpréter le système enseignement / apprentissage de disciplines aussi conceptualisées que la physique et la chimie. Ces limites peuvent être illustrées à travers les conceptions de l'apprentissage, des connaissances, de la résolution de problème. Nous allons illustrer ces limites par des exemples.

II.2.2.2.3. Béhaviorisme et enseignement/apprentissage de la physique et de la chimie

Les limites du béhaviorisme dans le cadre de la physique et de la chimie seront illustrées dans l'apprentissage des concepts, de démarches et techniques spécifiques et dans la résolution de problème. Nous tirerons ensuite des conclusions générales sur la pertinence de cette approche par rapport à notre recherche.

Exemple 1 : le concept de champ électrostatique en physique

Comment interpréter par le schéma stimulus-réponse l'apprentissage du concept de champ électrostatique en physique ?

Le schéma S-R peut apparemment marcher. Le champ électrostatique peut être défini de manière opérationnelle comme suit :

“ On dit qu'une région de l'espace est le siège d'un champ électrostatique si une charge électrique y subit une action appelée force électrostatique. ”

L'existence du champ se traduit donc par un comportement observable du système constitué par la charge électrique. L'observation est facilitée ici par un dispositif tel qu'une petite boule chargée suspendue à une potence par le biais d'un fil isolant.

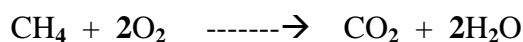
Mais en physique la non-observation d'un effet ne signifie pas absence d'action. Dans l'exemple précité, l'existence d'un champ antagoniste non identifié peut "masquer" l'existence du champ. C'est peut-être là une explication plausible de la longévité de la mécanique d'Aristote qui, du fait de la non prise en compte des forces de frottements associait l'existence d'un mouvement à l'application d'une force. C'est d'ailleurs là un exemple historique d'obstacle épistémologique (Bachelard, 1938).

Exemple 2 : le concept « équilibrer une équation chimique »

L'illustration peut se faire également en chimie. Par exemple comment apprendre aux élèves à équilibrer une équation chimique ?

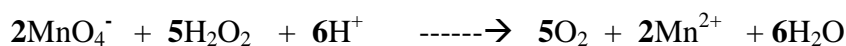
Ce concept traduit la loi de la conservation de la matière. Il met en jeu plusieurs concepts tels que : corps purs, réaction chimique, formule chimique, transformation chimique, équation chimique.

Réaction 1 : Combustion complète du méthane dans le dioxygène :



Réaction 2 : Oxydation en milieu acide de l'eau oxygénée H_2O_2 par les ions permanganate MnO_4^-

Suivant le pH du milieu les ions MnO_4^- sont réduits soit en ion Mn^{2+} ou en dioxyde de manganèse MnO_2



Les éléments observables ici, (les lettres : les symboles et formules chimiques) ; les chiffres : (indices des éléments dans les formules chimiques et coefficients stœchiométriques), ne suffisent manifestement pas à faire comprendre le principe de l'équilibration des équations chimiques, une compétence de base de l'étudiant en chimie. Si les symboles sont relativement faciles à mémoriser par le biais de techniques consacrées, l'observation de deux types de chiffres qui ont des significations totalement différentes ne suffit pas pour accéder à toutes les informations qui sont à la base de l'équilibration. Le problème se complexifie quand on passe de la réaction 1 à la réaction 2, faisant intervenir des ions en solution aqueuse.

La maîtrise des techniques d'équilibration des équations chimiques fait appel à des processus intellectuels plus complexes. Les difficultés observées chez les élèves en chimie ne sont certainement pas étrangères à une approche behavioriste de l'équilibre des équations chimiques adoptée par les enseignants.

On voit ainsi qu'en physique ou en chimie l'observable est insuffisant pour développer un apprentissage ou fonder une connaissance.

Exemple 3 : Résolution de problème en physique

Considérons l'énoncé suivant :

“ On se propose de communiquer à une particule de masse m , une vitesse v_1 au bout d'un temps t_0 . Etudier les conditions de réalisation de cette tâche. ”

Peut-on ramener la résolution de ce problème à une sélection de réponse adaptée ?

Même si l'étudiant peut à la suite d'un apprentissage antérieur procéder, sur la base de critères qui lui sont propres ou qui lui ont été suggérés, à une classification des types de problèmes, il ne pourra jamais faire l'économie d'une analyse fine de la situation de départ et des conditions d'application des outils théoriques disponibles(par exemple la deuxième loi de Newton) dont il dispose.

La question reste cependant de savoir si tous les énoncés renferment les exigences ci-dessus énumérées. Les pratiques scolaires de résolution de problème ne sont-elles pas basées de manière implicite sur un arrière-plan behavioriste ? Des modes d'évaluation tels que les QCM ne favorisent-ils pas le maintien d'un modèle behavioriste de l'apprentissage, mais aussi hélas, de l'enseignement.

II.2.2.3. Conclusion sur les limites du behaviorisme

Le behaviorisme continue encore d'influencer l'enseignement et l'apprentissage et par conséquent les activités de résolution de problème, qui sont une composante importante des pratiques scolaires. La persistance de cette influence s'explique sans doute par la simplicité et l'efficacité relative de certaines méthodes dérivées du behaviorisme.

La simplicité est née de la décomposition en éléments simples des activités complexes. On pourrait sans doute faire l'hypothèse que la simplicité a un effet attractif sur les activités sociales.

L'efficacité relative, quant à elle, est liée aux succès de certaines méthodes simples qui assurent la sécurité psychologique de l'utilisateur par les possibilités de contrôle et de mesure, des effets produits.

Un exemple typique des pièges d'une approche béhavioriste dans l'enseignement de la physique et de la chimie est l'utilisation de « la règle de trois » dans la détermination des quantités de matière en jeu dans une réaction chimique.

La « règle de trois » n'est opérationnelle dans le calcul des masses de composés en jeu que lorsque les substances sont mélangées dans des proportions dites stœchiométriques, c'est -à-dire si on a mis en présence les quantités tout juste nécessaires à la réaction de l'ensemble des réactifs.

Si l'un des réactifs est en excès, l'application de la « règle de trois » donne des résultats dénués de sens, parce que ne respectant pas l'une des premières lois de la chimie, la fameuse loi de la conservation de la matière attribuée à Lavoisier (Massain, 1976).

Il s'y ajoute l'accent mis sur le rôle de la rétroaction ou renforcement dans l'enchaînement stimulus-réponse. De nombreuses recherches ont mis l'accent sur le rôle de la rétroaction dans l'apprentissage. Ici le béhaviorisme assume une continuité avec l'idée de sanction et de récompense qui régule déjà les interactions sociales connues (exemple : relation entre l'enfant et ses parents).

Le béhaviorisme est allé plus loin en prenant en compte les aspects affectifs du comportement : ceux-ci résulteraient uniquement de facteurs présents dans l'environnement considérés comme déterminants. C'est là le principe qui fonde les méthodes de conditionnement.

Ainsi comme nous l'avons montré avec des exemples précis, le béhaviorisme ne constitue pas un cadre pertinent pour rendre compte de la mise en scène des concepts de base de notre recherche dans le contexte disciplinaire de la physique et de la chimie. Il n'est pas possible de s'intéresser à la résolution de problème sans se référer aux processus intellectuels en jeu, mais aussi aux éléments motivants qui animent les sujets en action, ce qui revient à prendre en compte la dimension humaine.

A partir des années 60, le mouvement behavioriste, qui dominait la psychologie aux Etats Unis depuis le début du siècle commence à s'essouffler. On assiste alors à l'affirmation progressive du paradigme cognitiviste. Ce renouveau de la psychologie est également dû à l'apparition des ordinateurs, aux travaux relatifs à l'intelligence artificielle, et à la formalisation des théories du traitement de l'information chez l'homme, qui prennent en compte ce que le schéma stimulus/réponse/renforcement n'a pu intégrer : le caractère intentionnel et finalisé des conduites humaines.

Mais le changement de paradigme ne s'est pas produit de manière brutale. En effet le behaviorisme, expression contemporaine de l'associationnisme, a cohabité avec le point de vue psychanalyste, une approche d'essence mentaliste du comportement humain.

Pour les psychanalystes, dont Sigmund Freud (1856-1939) est une des figures de proue, le comportement s'explique essentiellement à partir de processus conflictuels inconscients qui se sont construits progressivement dans la petite enfance, lors de l'éveil de la sexualité, dans la relation parents/enfants, ou avec le monde extérieur.

Mais plus que la psychanalyse, le passage du behaviorisme au cognitivisme s'est fait par le biais d'autres courants psychologiques transitoires.

II.2.3. DU BÉHAVIORISME AU COGNITIVISME : LES COURANTS TRANSITOIRES

Le passage du behaviorisme au cognitivisme s'est fait par une succession de courants qu'on pourrait qualifier de « pré-cognitivistes », au cours d'un processus que certains ont qualifié de révolution tranquille. Nous avons retenu principalement deux courants transitoires : la psychologie de la Forme (Gestalt-théorie) et les théories médiationnelles de Tolman.

II.2.3.1. La psychologie de la Forme ou « Gestalt-théorie »

Ce courant découle des travaux de l'Ecole de Berlin et se développe dans les années 30-40. Elle s'oppose à l'associationnisme. Les figures de proue de ce courant psychologique sont les Allemands Wertheimer, Koffka, Köhler, Lewin et le Français Guillaume (Raynal et Rieunier, 1997).

Pour les gestaltistes, les formes complexes ne se constituent pas à partir d'éléments plus simples comme le pensent les associationnistes, mais sont perçues d'emblée comme entités signifiantes. Pour la Gestalt-théorie, il y a prééminence du principe de totalité.

Exemple : un carré est d'abord perçu comme un carré, et non comme quatre segments de droite assemblés.

La perception est globale, et les éléments sont perçus « ensemble ». Il y a *de bonnes formes*, celles qui s'imposent d'emblée, et de mauvaises formes, qui ont tendance à ne pas être perçues en tant qu'unité. Pour la psychologie de la forme, le tout est autre chose que l'ensemble des parties, quelque chose de plus riche que l'ensemble des éléments et qui oriente la perception.

Le concept de « insight » (en allemand, *einsicht*), introduit par Wolfgang reste attaché à la psychologie de la forme : il désigne le phénomène de « compréhension soudaine » qui se produit lorsqu'il y a changement dans la perception d'une situation.

Köhler est connu pour ses travaux sur les singes. Pour lui l'insight est une forme particulière de l'apprentissage.

L'interprétation du phénomène d'insight par Köhler est que l'intelligence fonctionne par sauts successifs, par restructuration d'éléments qui, après réflexion, se réorganisent brutalement comme des éléments d'un puzzle dont on apercevrait tout à coup la signification. En ce sens, la Gestalt-théorie défend une approche structuraliste de la perception. On voit que ce type d'apprentissage par insight s'opposait nettement aux apprentissages par essais et erreurs des béhavioristes.

Cependant, la puissance idéologique de ces derniers et leur domination sur la psychologie de la première moitié du XXème devaient en partie occulter la justesse des propositions des gestaltistes, jusqu'à ce que la dynamique du cognitivisme triomphant les réhabilite, à partir des années 70. Weil-Barais, (1993) écrit à ce propos :

« L'idée la plus intéressante des gestaltistes est sans doute celle qui suppose, qu'au cours de cette phase réflexive, le sujet opère un traitement global de la situation, de type holistique, et non pas un traitement des parties de type analytique.

Ceci permet de comprendre que beaucoup de découvertes, notamment des découvertes scientifiques, ont été faites par des gens qui ont repris autrement, avec d'autres cadres

de pensée, des problèmes qui, à l'intérieur d'un cadre conceptuel donné, ne trouvaient pas de solutions satisfaisantes. » (p.543).

Cette vision précognitiviste allait se renforcer avec les travaux de Tolman et les théories médiationnelles.

II.2.3.2 : Les théories médiationnelles de Tolman

Tolman Edwards Chace (1886 –1959) fut le parfait représentant d'une position intermédiaire entre le béhaviorisme radical de Watson et le mentalisme. Il est à l'origine de ce qu'on appellera plus tard les théories de l'intentionnalité, ou théories « médiationnelles ».

Tolman adopte d'abord les positions béhavioristes relatives au comportement , puis , sous l'influence de la gestalt-théorie (psychologie de la Forme), il s'en détache sensiblement pour défendre une position plus cognitiviste des conduites. Comme la plupart de ses collègues , il étudie les problèmes d'apprentissage en faisant des expériences sur les rats. Ses expériences sur l'apprentissage latent le rendent particulièrement célèbre (Raynal et Rieuner, 1997).

L'apprentissage latent selon Tolman est un apprentissage qui se produit pendant une phase exploratoire, alors qu'on ne cherche pas particulièrement à apprendre. La mise en évidence de ce type d'apprentissage ouvrait la voie à une position théorique en contradiction avec les fondements du béhaviorisme radical de Watson pour déboucher sur le concept de « cognitive map » ou carte cognitive. Celle-ci apparaissait en effet comme une hypothèse sur la structure mentale. Boutinet(1990) rend compte de la psychologie de Tolman mettant en évidence l'existence, même chez le rat , d'une variable « intermédiaire » qui semble orienter l'animal vers un but.

« Le projet comme variable intermédiaire est « sign-gestalten », c'est-à-dire un ensemble organisé doué de signification. Le projet est à la fois ce qui donne du sens au comportement et qui motive l'individu qui agit toujours » dans l'attente de quelque chose. La psychologie de Tolman de ce point de vue s'identifie à une psychologie de

l'attente, de l'expectation (expectancy psychology), c'est-à-dire de l'anticipation. Le comportement n'est pas la résultante d'une adaptation mécanique à l'environnement en réponse à une stimulation. Il exprime au contraire une adaptation dynamique en anticipant toujours une nouvelle stimulation » (Boutinet, 1990, p. 130).

Les positions théoriques de Tolman découlant de ses recherches expérimentales peuvent être considérées comme l'une des transitions les plus explicites entre les points de vue béhavioriste et cognitiviste.

II.2.4. LE COGNITIVISME

Contrairement au béhaviorisme, le cognitivisme émet des hypothèses, propose des modèles à propos de la structure de la pensée et des processus intellectuels, et s'intéresse aux mécanismes permettant d'acquérir, d'intégrer et de réutiliser les connaissances.

Le paradigme cognitiviste sera revisité suivant les rubriques suivantes :

- le constructivisme (Piaget, Wallon, Vygotsky, Bruner)
- le modèle du traitement de l'information souvent désigné par le concept de psychologie cognitive (Newell et Simon, 1972 ; Gagné, 1984 ; Glover et al., 1990)
- les théories connexionnistes qui à la suite des données empiriques obtenues en neurosciences, tendent à supplanter le modèle computo-symbolique.

Ces différents courants seront présentés dans leurs fondements théoriques et en rapport avec les concepts de notre recherche.

Enfin quelques éléments des débats actuels seront présentés pour mettre en évidence le rôle croissant dévolue au contexte, aux interactions sociales et à la culture dans la cognition humaine.

II.2.4.1. Le constructivisme

Les deux grandes figures du constructivisme psychologique sont sans nul doute Piaget et Vygotski. Si le psychologue suisse Piaget est sans conteste le plus connu et le plus prolifique par ses nombreux travaux et ceux de ses disciples, l'œuvre de Vygotski, longtemps méconnue, suscite depuis une vingtaine d'années un intérêt sans cesse

croissant au près des chercheurs en éducation en général et en didactique en particulier. A côté de ces deux grandes figures, il nous a semblé pertinent de signaler les contributions de Wallon et de Bruner (Bruner et al., 1956, 1957 ; Bruner,1963).

II.2.4.1.1. Le constructivisme de Piaget

Piaget a poursuivi une bonne partie de sa vie le même but, celui de construire une théorie de la genèse des connaissances. Il a cherché à répondre à la question centrale : « Comment les connaissances viennent-elles aux individus ? ». Piaget adopte un point de vue structuraliste (O'Loughlin, 1992). La réponse que Piaget donne à sa question, c'est le constructivisme: les connaissances ne sont pas transmises par quelqu'un qui sait vers un autre qui ne sait pas, mais elles ne viennent pas non plus des sensations comme le prétendent les associationnistes. Elles sont construites par l'individu par l'intermédiaire des actions qu'il accomplit sur les objets. Ces actions sont intériorisées et constituent des schèmes. Ceux-ci s'inscrivent dans le cerveau, s'organisent en structures opératoires, et permettent à l'individu de répondre de façon satisfaisante à une situation (adaptation).

Sur cette base Piaget et ses collaborateurs ont formulé des hypothèses sur la genèse des conceptions du temps, de l'espace, du réel, du nombre, du mouvement, de la vitesse..., la genèse du langage, du symbole, de la logique, de la morale, du jugement, du raisonnement...

Les concepts d'assimilation, d'accommodation et d'équilibration qui expliquent le processus de l'adaptation, donnent un ancrage biologique à la théorie piagétienne : l'équilibration y est conçue comme une homéostasie des structures cognitives.

L'accommodation est le processus par lequel un organisme se modifie sous la pression de l'environnement. Pour Piaget, la connaissance s'acquiert par l'intermédiaire du contact avec les objets et par l'intégration de ces objets à la structure mentale. Chaque individu possède dans le cerveau des schèmes d'action, c'est-à-dire des schémas d'activité qu'il utilise dans une situation déterminée. Ces schèmes d'action permettent à l'individu d'être efficace s'il est confronté à un objet ou à une situation qu'il connaît.

Si l'individu est confronté à une situation nouvelle (situation qu'il n'a jamais rencontrée, où qu'il ne reconnaisse pas), ses schèmes d'action sont inadaptés: il se trouve alors en déséquilibre. Pour retrouver son équilibre, il cherche une solution au problème qui lui est posé.

L'assimilation est le processus complémentaire du processus d'accommodation. C'est par l'intermédiaire de l'assimilation qu'un individu intègre un objet ou une situation nouvelle à sa structure mentale. Piaget définit l'assimilation en ses termes : « d'un point de vue biologique, l'assimilation est l'intégration d'éléments externes dans les structures en évolution, ou complètes d'un organisme » (Piaget, 1970, p. 707).

Quant à l'accommodation, elle intervient lorsque le nouvel objet de savoir résiste à la cassure ou à l'absorption : le sujet « accommode, c'est-à-dire que ses structures s'adaptent autant que possible pour que l'expérience soit assimilable, pour qu'on la rende plus facile à comprendre (Piaget, 1981a). L'assimilation et l'accommodation sont les deux processus fondamentaux qui caractérisent l'adaptation.

Dans le langage pédagogique, « assimiler » est synonyme de « comprendre » : il a bien « assimilé » sa leçon. On assimile des connaissances »..., ce qui signifie que lorsqu'un apprenant a *assimilé* un concept, il est capable de l'utiliser dans une nouvelle situation et de s'en servir comme un nouvel outil de pensée. Cette nouvelle réponse est bien le signe extérieur d'un processus complexe que Piaget nomme adaptation, et qu'il considère comme l'une des formes de l'intelligence.

Lorsque par accommodation et assimilation l'individu a modifié ses schèmes d'action ou a créé de nouveaux schèmes lui permettant de résoudre le problème auquel il était confronté, il dispose alors d'une nouvelle structure mentale, il retrouve son équilibre. Piaget dit qu'il est en équilibration.

Piaget est donc un psychologue cognitiviste parce qu'il s'est intéressé aux processus mentaux. Il a émis des hypothèses sur l'intelligence et sur les connaissances. En cela il se démarque de la psychologie béhavioriste.

Au cours du Colloque International sur le constructivisme (tenu à Genève ; 4-8 septembre 2000, et auquel nous avons eu l'honneur de participer), le Comité scientifique a résumé dans un document inédit, les idées de Piaget. La portée de cette synthèse nous amène à la reproduire entièrement :

« La psychologie de Piaget recouvre un ensemble de thèses issues de ses nombreuses recherches sur le développement de l'intelligence et des connaissances les plus générales chez l'enfant et sur l'histoire des sciences (Piaget, 1927, 1946). Pour cette raison, ce courant est appelé psychologie génétique ou développemental). Piaget met d'abord en évidence dans le développement de l'enfant une succession de structures ou de formes de conduites et de connaissances qualitativement différentes appelées stades.

Piaget et Inhelder (1970) se sont ensuite intéressés aux mécanismes par lesquels le sujet construit de nouvelles connaissances générales (logiques, numériques, spatiales...), ainsi que les savoir-faire opératoires (opérations logico-mathématiques de différents niveaux de complexité) qui leur sont associés.

La caractéristique principale de l'évolution de l'intelligence et des connaissances se résume par la formule de " l'intégration constructive du dépassé dans le dépassant ". Ainsi, chaque étape de développement se caractérisant par certaines propriétés de structure, l'étape qui lui succèdera dans le développement verra l'apparition de connaissances et de savoir-faire manifestant certaines propriétés structurales à la fois plus riches et plus puissantes (logiquement et mathématiquement parlant).

L'intégration du dépassé dans le dépassant sera complétée par deux autres thèses. La première met l'accent sur le rôle fondamental dévolu à l'activité pratique et réflexive des sujets agissant sur le monde extérieur dans la construction des connaissances : c'est la psychogenèse des connaissances.

La deuxième thèse affirme que la construction des normes rationnelles (ayant trait à l'espace, au temps, au nombre , mais aussi aux normes morales et sociales) relève également de déterminants à la fois biologiques (phylogénèse), psychologiques (psychogenèse), et sociaux (sociogenèse).

Au-delà de ces facteurs cette construction se fait par deux mécanismes permettant de rendre compte de l'intégration du dépassé dans le dépassant : l'équilibration et l'abstraction réfléchissante. Ce sont là les caractéristiques du constructivisme

génétiq ue de Piaget, dont l'objet est l'interprétation de la genèse des connaissances les plus générales (le temps, l'espace, le nombre, les conservations physiques...)

Piaget et ses collaborateurs se sont ensuite penchés sur les mécanismes par lesquels les connaissances se construisent progressivement. Ainsi, le constructivisme de Piaget apparaît avec deux composantes : un constructivisme psychogénétique qui prolonge l'explication piagétienne générale de l'origine des connaissances rationnelles, et un constructivisme psychologique qui porte son attention aux activités constructives concrètes de sujets engagés dans des tâches de résolution de problèmes pratiques.

Le constructivisme psychogénétique étudie l'évolution des processus constructifs (l'abstraction réfléchissante, la généralisation constructive, la dialectique du possible et du nécessaire...). Quant au constructivisme psychologique, l'objet d'étude est la façon dont le sujet, au cours d'une tâche, réorganise ses conceptions d'un problème, ses moyens de résolution et les notions qu'il lui associe (ses stratégies de résolution...).

*Dans ce dédoublement du constructivisme génétique les notions épistémiques sont mises à l'arrière-plan. L'activité des sujets individuels confrontés à des questions ou des problèmes pratiques ou théoriques est au centre des préoccupations. Mais en même temps on s'intéresse également à la manière dont les processus étudiés dépassent les frontières de l'individualité psychologique et intègrent les dimensions biologiques, interpsychologiques et épistémiques (Colloque International « **Constructivismes : perspectives et usages en éducation**, document de synthèse, inédit. Genève, 4-8 septembre, 2000).*

Piaget a ainsi exercé une influence déterminante sur le courant de la psychologie cognitive. Sa théorie repose sur une approche constructiviste de la pensée. Cette construction du savoir est perçue comme un processus non linéaire, mais qui comporte des étapes d'équilibre appelées stades.

Malgré le succès important réservé aux conceptions piagésiennes du développement de la pensée et de l'apprentissage, les tentatives de réinvestissement dans un champ disciplinaire ont révélé des limites certaines. Il n'y a rien de surprenant à cela : Piaget a surtout étudié les problèmes généraux de la pensée et de l'intelligence.

Vergnaud (1981) résume ainsi certaines critiques émises à propos de l'œuvre de Piaget :

- l'intérêt porté sur les instruments généraux de la pensée au détriment des instruments d'acquisition des connaissances scolaires.
- la prédominance de la structure des stades de développement sur l'évolution adaptative des connaissances
- la séparation nette entre la connaissance mathématique et la connaissance de la réalité physique
- la marginalisation des contenus de connaissances (mathématiques ou physiques) au profit des opérations et des structures logiques.

De manière générale, tout en reconnaissant la valeur de la théorie de Piaget en tant que cadre interprétatif pertinent de la genèse et du développement des connaissances et des processus intellectuels, les critiques formulées mettent l'accent sur son manque de sensibilité par rapport aux différences de situations et/ou de contenus. Cela semble logique à O'Loughlin (1992) selon lequel Piaget ne s'est intéressé principalement qu'aux principes généraux du raisonnement humain à l'exclusion des considérations particulières telles que le contexte historique et social du raisonnement et les histoires personnelles des sujets qu'il a étudiés.

Ainsi le paradigme piagétien n'a pas eu d'influence directe sur la problématique de la résolution de problème, dans une perspective didactique au sens de science qui étudie les difficultés d'appropriation des savoirs et des démarches intellectuelles en jeu dans un champ disciplinaire spécifique tel que la physique ou la chimie.

II.2.4.1.2. Le constructivisme de Wallon

Philosophe, médecin, psychologue et homme politique français, Wallon (1945) est surtout connu pour ses travaux sur le développement psychologique de l'enfant et sa contribution au projet de réforme de l'enseignement public français, le « Plan Langevin-Wallon », élaboré au lendemain de la Libération (Raynal et Rieunier 1997).

Agrégé de philosophie en 1902, docteur en médecine en 1908, Wallon rédige sa thèse d'Etat sur « l'Enfant turbulent », première approche du concept d'émotion. Ce concept

occupera d'ailleurs une place centrale dans ses thèses ultérieures sur le développement de l'enfant.

Wallon développe une approche originale de la psychologie infantile ordonnée autour de deux axes : un axe biologique, substrat nécessaire des comportements, et un axe social-culturel, en référence « au milieu des vivants » dont fait partie, fondamentalement, dès sa naissance, l'enfant.

Pour Wallon en effet, comme pour Vygotski, contrairement à Piaget, le développement de l'enfant est d'abord social.

Les premières manifestations du psychisme de l'enfant prennent, selon Wallon, la forme d'émotions, car celles-ci sont l'expression des premiers échanges entre le bébé et son entourage. Ainsi « l'affectif », en inaugurant les premiers systèmes de communication de l'enfant avec le monde extérieur, précède le « cognitif ». Du même coup, Wallon peut poser comme principe directeur de la psychogenèse, l'action, qui, dans un mouvement de réaction circulaire, génère des représentations : l'action produit des effets, qui produisent de nouvelles actions, dont les nouveaux effets font jaillir des représentations, base de l'activité mentale. Ces représentations vont à nouveau diriger l'action, et ces remaniements successifs vont contribuer à « construire » progressivement une architecture de plus en plus complexes des processus psychologiques. L'approche de Wallon est donc une approche constructiviste : c'est le fonctionnement psychologique qui permet le développement psychologique. Celui-ci ressemble donc à un système ouvert, constamment régulé par les transformations successives des structures de représentations, elles-mêmes modifiées par les interactions permanentes entre le biologique et le social, l'individuel et le collectif, l'affectif et le cognitif, les maturations physiologiques successives et les schèmes organisateurs correspondants.

Cette vision « totale » du développement de l'enfant (non focalisé sur quelques variables), différencie Wallon de Vygotski (dont il ignorait probablement les travaux) malgré un ancrage social commun. En revanche, Piaget n'ignorait pas Wallon, dont il partageait l'hypothèse de paliers successifs. Leur point de polémique (mise à part l'approche logico-mathématique de Piaget), tenait plutôt à l'influence du milieu (social, physique ou symbolique) sur le développement, à la prééminence des états émotionnels

dans les premiers mois de la vie, et à l'importance accordée à l'affectivité dans l'élaboration des processus mentaux.

Sur ces derniers points, Nadel (1992) a souligné avec force la place que Wallon a accordée à l'émotion dans l'établissement d'une communication interindividuelle en dehors de toute relation intellectuelle. L'hypothèse de signaux émotionnels en tant que système d'expression précoce a été confortée par la découverte, cinquante années plus tard des compétences sociales précoces du bébé, notamment ses capacités d'expression et de discrimination des émotions.

II.2.4.1.3. Le constructivisme de Vygotski

Vygotski (1896-1934), est un contemporain de Piaget. Il était passionné par les problèmes du développement de l'enfant et la construction de « la pensée ». Ses travaux et ses idées, longtemps ignorés pour des raisons idéologiques, ne parviennent en Occident par le biais des Etats Unis que dans les années 1950, soit trente ans après sa mort.

Il revint à Jérôme Bruner, psychologue Américain, d'en avoir apprécié le premier toute l'importance, en préfaçant la traduction de son ouvrage principal « Pensée et Langage », aux presses du MIT (Massachusetts Institute of Technology). Parce que la traduction en français de cet ouvrage devenu une référence en psychologie fut vraiment tardive, le grand public des chercheurs francophones ne le découvre que très récemment (Vygotski,1985).

Lorsque Vygotski commence ses recherches autour des années 1920-1930, le paysage de la psychologie occidentale était traversé par plusieurs courants: le mentalisme de Freud (la psychanalyse), le réductionnisme associationniste du russe Pavlov et de l'Américain Watson (béhaviorisme), ainsi que les différents structuralismes européens : psychologie de l'enfant de Wallon et Piaget, psychologie de la Forme des gestaltistes allemands (Köhler, Koffka).

Dans une démarche d'ouverture et de synthèse, le psychologue russe emprunte à tous les courants de pensée quelques éléments d'inspiration et de réflexion. Mais en marxiste convaincu, largement pénétré des courants intellectuels pré-révolutionnaires

de la Russie de 1910, il compose sa théorie du développement de l'enfant sur une base radicale différente, celle de l'interactionnisme social.

Pour Vygotski l'enfant est d'abord un être social. Le développement de sa pensée, de son langage, de toutes ses fonctions psychiques supérieures, est le fruit d'une interaction permanente avec le monde des adultes, qui maîtrise déjà ces « systèmes de signes » que sont le langage et les codes sociaux.

Par l'intériorisation progressive, en alternant des phases de maturation physiologique avec des phases d'apprentissage, un système « intra psychique » autonome et individuel s'élabore progressivement à partir d'un système « inter psychique » collectif.

Vygotski affirme donc la genèse sociale du développement de l'enfant : la famille, l'école, sont pour lui, les lieux privilégiés de cette évolution.

Astolfi (2001) confirme cette analyse des positions de Vygotski par opposition à Piaget en ces termes :

« Pour Vygotski au contraire, ce sont les interactions sociales entre sujets qui sont d'emblée décisives, le mouvement réel de la pensée va de l'inter-psychique vers l'intra-psychique. La polémique théorique avec Piaget porta précisément sur le statut second et dérivé que celui-ci accordait au social quand lui considérait que c'est le moteur des progrès de la pensée. L'apprentissage représente alors plutôt les « fleurs », ou même les « bourgeons » du développement, plutôt que ses fruits.

On peut donc parler d'une théorie centrifuge (ou « inside out »), pour le premier, le mouvement essentiel allant du sujet à son environnement, et d'une théorie centripète (ou « outside »), pour le second, qui accorde une place au processus d'intériorisation .» (Astolfi, 2001, pp. 115-116).

Les deux approches psychologiques sont résumées par Astolfi (2001, p. 115) dans le schéma suivant :

Tableau 11 : Comparaison entre Piaget et Vygotski selon Astolfi (2001)

PIAGET	VYGOTSKI
Apprentissages déterminés par l'état de maturation des structures cognitives Externalisation	Développement stimulé par les apprentissages intentionnels Internalisation

Les hypothèses de Vygotski sont extrêmement importantes pour la réflexion éducative. Quoiqu'il soit d'accord avec Piaget sur une conception du développement par stades successifs et hiérarchisés, il estime que le développement cognitif peut subir, dans certaines circonstances favorables, une véritable accélération, grâce à l'intervention de l'adulte. Le développement de l'enfant, dans ce cas s'appuie non seulement sur une base de maturité intellectuelle, mais également sur l'intervention de l'adulte (la famille, l'école) qui par sa médiation, lui donne accès à des formes de représentations plus élaborées, et donc à des processus de pensée plus raffinés.

On peut résumer cela par la formule : l'apprentissage accélère le développement. Par apprentissage il faut entendre surtout la médiation d'un adulte que Bruner appelle l'interaction de tutelle qui prévaut dans tous les systèmes à visée éducative : famille et école principalement, lieu de socialisation par excellence.

Pour expliquer l'effet d'une bonne médiation, Vygotski (1985) avance le concept de zone de proche développement (ZPD).

« Le psychologue doit nécessairement, pour déterminer l'état du développement, prendre en considération non seulement les fonctions venues à maturité, mais aussi celles qui sont au stade de la maturation, non seulement le niveau présent mais aussi la zone de proche développement. Comment procéder ? Pour déterminer le niveau présent du développement, on utilise des problèmes que l'enfant doit résoudre tout seul et qui ne sont indicatifs que par rapport aux fonctions déjà formées et venues à maturité.

Admettons que nous ayons déterminé chez deux enfants un âge mental équivalent à 8 ans. Si l'on va plus loin et qu'on essaie de voir comment les deux enfants résolvent les problèmes destinés aux âges suivants lorsqu'on leur vient en aide en leur montrant, en leur posant une question qui les met sur la voie, en leur donnant un début de solution, etc., il apparaîtra qu'avec l'aide, en collaboration avec un adulte, l'un d'eux résout des problèmes

correspondant à l'âge de 12 ans et l'autre des problèmes correspondant à l'âge de 9 ans. Cette disparité ... détermine précisément la zone de proche développement. Dans notre exemple, pour le premier enfant cette zone est exprimée par le chiffre 4, pour l'autre le chiffre 1. (...)
La recherche montre que la zone de proche développement a une signification plus directe pour la dynamique du développement intellectuel et la réussite de l'apprentissage que le niveau présent de leur développement »(Vygotski, 1985, p.387).

Contrairement à Piaget et Wallon, les recherches de Vygotski ont surtout porté sur l'acquisition du langage, considéré comme instrument privilégié du développement de la pensée. Mais l'étude de cette variable a donné lieu à de très larges explorations : formation du mot et du concept, langage, conceptualisation, structuration psychologique, pensée formelle, socialisation, implications éducatives, etc.

Vygotski est mort prématurément à l'âge de 38 ans. Ses écrits ont été censurés dans son pays, et « négligés » à l'Ouest jusqu'au moment où, par l'intermédiaire de Bruner, certaines orientations de la recherche occidentale en permettent une relecture attentive et un intérêt toujours croissant.

II.2.4.1.4 : Les contributions de Bruner et Ausubel

Le psychologue américain Bruner appartient à la lignée des chercheurs américains qui ont délibérément opté, dès les années 50, pour une approche cognitiviste de la psychologie. Professeur à Harvard à partir de 1952, il y fonde, avec Miller, le fameux Centre d'études cognitives.

Ses premiers travaux sur la perception ont eu une portée heuristique considérable. Bruner(1956) a été à l'origine de la théorie des constructs de Kelly sur la perception (constructs = structures conceptuelles internes orientant la perception), et de quelques notions centrales qui fondent la psychologie cognitive elle-même, comme les variables intermédiaires (empruntées à la Gestalt-théorie et à Tolman), ou encore les patterns d'activité automatisée (concept voisin de script). En 1954, ses recherches avec Taguiri sur la perception d'autrui et la « théorie implicite de la personnalité » apporteront à la psychologie sociale une contribution non négligeable (Levy, 1975).

C'est en 1956, dans un livre qui fera autorité, "A study of thinking », que Bruner développe ses théories sur l'acquisition des catégories conceptuelles : son approche

inductive (exploration ou ajustement), qui n'a pas manqué d'éveiller l'intérêt des pédagogues, est toujours d'actualité et est considérée comme à l'origine du concept de style cognitif.

Psychologue cognitiviste et surtout constructiviste, Bruner s'inspire du modèle d'acquisition des connaissances « en spirale ». Il faut que dès la petite enfance, les notions enseignées soient vraies, verbalisées correctement, et adaptées à la structure cognitive de l'enfant. Par accommodations successives et sous l'influence directe du langage (facteur structurant de la pensée), l'enfant parviendra à élaborer des systèmes conceptuels performants, et à accéder aux modes de représentations symboliques.

En éducation, Bruner préconise une pédagogie de la découverte (priviliégiant la démarche inductive). Bruner préconise des situations d'auto-apprentissage dans lesquelles l'élève découvre les règles, les concepts et les lois d'une discipline, mais accorde cependant un rôle capital au maître en tant que médiateur des apprentissages. Il prend quelque distance vis à vis de Piaget et rejoint les thèses du psychologue russe Vygotski qu'il présente aux chercheurs anglophones dès 1962, en préfaçant la traduction américaine de son ouvrage « Pensée et Langage » qui ne paraîtra en français qu'en 1985.

La contribution de Bruner à la psychologie et aux sciences de l'éducation est considérable. Ses travaux sur les processus de développement cognitif de l'enfant, de la construction de l'abstraction, la structuration de la pensée et du langage, ses diverses propositions quant à l'apprentissage et l'enseignement (médiation, tutorat, interaction de tutelle, étayage) en font un théoricien de premier plan.

Promoteur d'une pédagogie « culturelle », qui souligne l'influence de l'environnement symbolique sur le développement psychique, Bruner restera le psychologue cognitiviste qui a le plus tenté d'humaniser les « sciences de la cognition ».

Dans le passage suivant Bruner (1991), cité par Raynal et Rieunier (1997), résume sa vision en matière de psychologie :

« Que signifiait pour nous cette révolution des années 50 ? C'était un effort acharné pour mettre la signification au centre de la psychologie. Ni le couple stimulus/réponse, ni les comportements observables, ni les déterminants biologiques et leurs transformations : la signification. »

Il ne s'agissait donc pas d'une révolte anti-béhavioriste, qui se serait limitée à transformer le béhaviorisme en lui adjoignant une dose de mentalisme. Edmond Tolman s'y était essayé sans grand succès.

Notre ambition était plus radicale : nous voulions découvrir et décrire formellement les significations que l'être humain crée au contact du monde, et émettre des hypothèses sur les processus à l'œuvre dans cette création. Nous voulions étudier les activités symboliques que l'homme utilise pour construire et donner du sens au monde qui l'entoure et à sa propre existence. Il s'agissait par conséquent de pousser la psychologie à s'unir avec les disciplines interprétatives voisines dans les sciences humaines(...). L'objectif d'une psychologie culturelle n'est pas de rejeter la biologie ou l'économie, mais de montrer que l'esprit et l'existence sont des reflets de la culture et de l'histoire tout autant que de la biologie et des capacités physiques(...). À terme, les explications causales les mieux affûtées ne peuvent donner un sens plausible à la condition humaine sans être interprétées à la lumière du monde symbolique que constitue la culture humaine" (Bruner, 1991, p.61).

Ausubel (1960, 1968) est également un psychologue cognitiviste. Son option apparaît nettement dans sa théorie de l'apprentissage intelligent ou apprentissage verbal signifiant qui met l'accent sur les structures cognitives de l'apprenant. Partant de son analyse de la structure des disciplines académiques en termes de concepts et de principes organisés verticalement du général au particulier, il élabore sa théorie de l'apprentissage verbal signifiant (Ausubel, 1960). L'apprentissage doit s'appuyer sur les structures cognitives de l'apprenant tout en tenant compte de la structure des contenus d'enseignement. Ausubel, cité par Meirieu (1988) exprime la place des structures cognitives de l'apprenant comme suit : « Le facteur le plus important influençant l'apprentissage est la quantité, la clarté et l'organisation des connaissances dont l'élève dispose déjà » (p. 129).

Sous ce rapport, on voit bien que Ausubel peut être considéré comme un des inspirateurs de la didactique des disciplines, telle qu'elle se développera plus tard chez les chercheurs francophones, notamment.

Ainsi, à la place de la méthode inductive s'appuyant sur la redécouverte, Ausubel préconise la méthode expositive, mais qui met la signification au cœur de l'apprentissage. Pour lui, il n'y a pas de relation mécanique implicite entre la méthode

expositive et l'apprentissage signifiant. Ausubel propose que tout exposé s'appuie sur « des idées générales organisatrices » ou « advance organizer », qui servent d'ancrage pour les autres idées énoncées ultérieurement.

Les structures conceptuelles hiérarchisées et assimilatrices, dont il postule l'existence, sont bien dans le sillage de l'organisation des connaissances telle que l'envisageront plus tard les psychologues cognitivistes, aussi bien les constructivistes à l'image de Piaget, que les tenants du modèle du traitement de l'information, que nous allons aborder à présent.

II.2.4.2. Le modèle du traitement de l'information

Le deuxième grand courant de l'approche cognitive est le modèle du traitement de l'information. Il est plus connu sous l'appellation de psychologie cognitive.

La psychologie cognitive a pour but la compréhension des processus de traitement de l'information chez l'être humain.

La psychologie cognitive s'appuie sur des concepts qui permettent de structurer un champ de connaissances susceptibles de fonder les activités de planification, de mise en œuvre, de gestion et d'évaluation de démarches intellectuelles, et de résolution de problème.

Les recherches en psychologie cognitive cherchent alors à vérifier la pertinence de ces connaissances et des modèles dans lesquels elles sont mises en scène, et leur efficacité dans l'analyse de situations précises, par exemple, celles relatives aux apprentissages scolaires.

Glover, Bruning et Ronning (1990) adoptent une démarche pragmatique pour caractériser la psychologie cognitive. Ils présentent ce courant comme une construction théorique qui cherche à répondre à quatre questions fondamentales répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Quatre questions pour circonscrire la psychologie cognitive, selon Glover et al. (1990, p. 8)

1. Qu'est-ce que la connaissance et quel rôle joue-t-elle dans la réussite de comportements cognitifs complexes ?
2. Comment les apprenants focalisent-ils leur attention sur certains éléments de leur contexte pendant qu'ils ignorent d'autres et quelles sont les capacités de l'apprenant à faire preuve d'attention ?
3. Comment les apprenants acquièrent-ils de l'information, lui donnent du sens, la gardent en mémoire, et la rappellent pour les utiliser ? Ensuite comment une fois l'information enregistrée, elle est stockée et qu'est-ce qui la rend ultérieurement plus ou moins accessible quand l'apprenant en a besoin ? En d'autres termes, comment se souvient-il de quelque chose et comment se fait-il que quelque fois qu'on oublie ?
4. Comment le système de traitement de l'information est-il utilisé pour résoudre des problèmes et quelle est la perspective cognitive en matière de résolution de problème ?

Le modèle de traitement de l'information considère l'humain comme un système de traitement de l'information. Pour répondre à cette question, la psychologie cognitive s'appuie sur un modèle de base. Celui-ci subira plusieurs modifications, de Newell et Simon (1960) à Anderson(1983), en passant par Atkinson et Shiffrin (1968), puis Gagné(1974). Le modèle met en avant un ensemble de concepts et de méthodes d'investigation permettant d'en établir la pertinence.

II.2.4.2.1 Les fondements du modèle du traitement de l'information.

Les limites du béhaviorisme établies plus haut, le contexte scientifique marqué par des critiques d'ordre épistémologique (Popper, 1973 ; Lakatos, 1970) et des contributions théoriques pertinentes (Kuhn, 1983), modifiant les idées sur la nature de la science et la validité de ses méthodes, ont favorisé l'émergence de la psychologie cognitive (Eysenck et Keane, 1990).

Le développement de l'informatique, permettant enfin de modéliser et de simuler des comportements intelligents a constitué une autre condition favorable au développement de cette théorie. (Broadbent, 1958 ; Newell et Simon, 1972 ; Gagné, R.M., 1970; Rumelhart et Olton : 1977; Anderson, 1983, 1985 ; Glover et al., 1990).

A partir des années (50-60), le mouvement béhavioriste qui dominait la psychologie aux Etats Unis depuis le début du siècle s'essouffle : les mécanismes S/R sont apparus comme inadaptés pour comprendre les « variables intermédiaires » : motivation, intention, but, pensée...La psychologie, sous l'influence de multiples courants de recherche (psychologie de la Forme, théories médiationnelles, invention de l'ordinateur, cybernétique, intelligence artificielle, travaux sur la résolution de problème, perception, mémoire, raisonnement, langage...), s'oriente alors vers un nouveau modèle général, un nouveau paradigme (Kuhn, 1983), qui rend compte plus efficacement du fonctionnement des activités cognitives : l'homme est vu pour la première fois comme une centrale de traitement de l'information, un superordinateur. Bastien (1987) met en évidence le rôle de l'ordinateur dans le développement de la psychologie cognitive en ces termes :

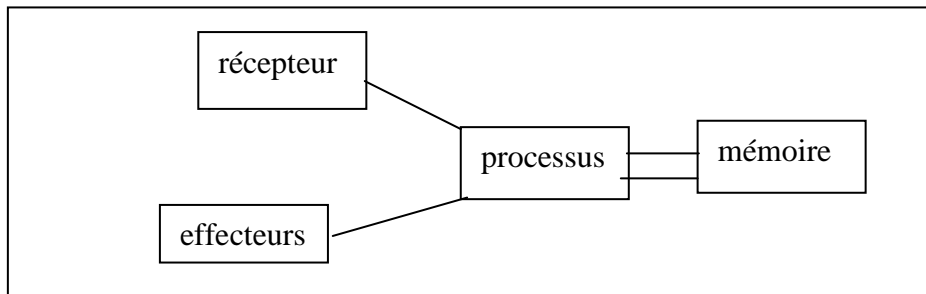
« C'est le recours à l'ordinateur, pour simuler les processus cognitifs des sujets en situation de résolution de problème qui a donné lieu, nous semble-t-il, aux développements théoriques et aux travaux expérimentaux les plus importants et les plus spectaculaires donnant naissance à la théorie du traitement de l'information. »(p.49).

Quant à Atkinson et al. (1987), ils soulignent la fécondité du modèle de traitement de l'information.

« A partir de ces travaux, beaucoup de vieilles questions psychologiques furent reformulées en termes de systèmes de traitement de l'information. On pouvait maintenant concevoir l'être humain comme un organisme qui traite de l'information. Les sens fournissent une voie d'entrée pour l'information ; des opérations mentales agissent sur ces données ; les données transformées créent une structure mentale qui est entreposée en mémoire : cette structure entre en interaction dans la mémoire avec d'autres structures pour engendrer une réponse» (p. 682).

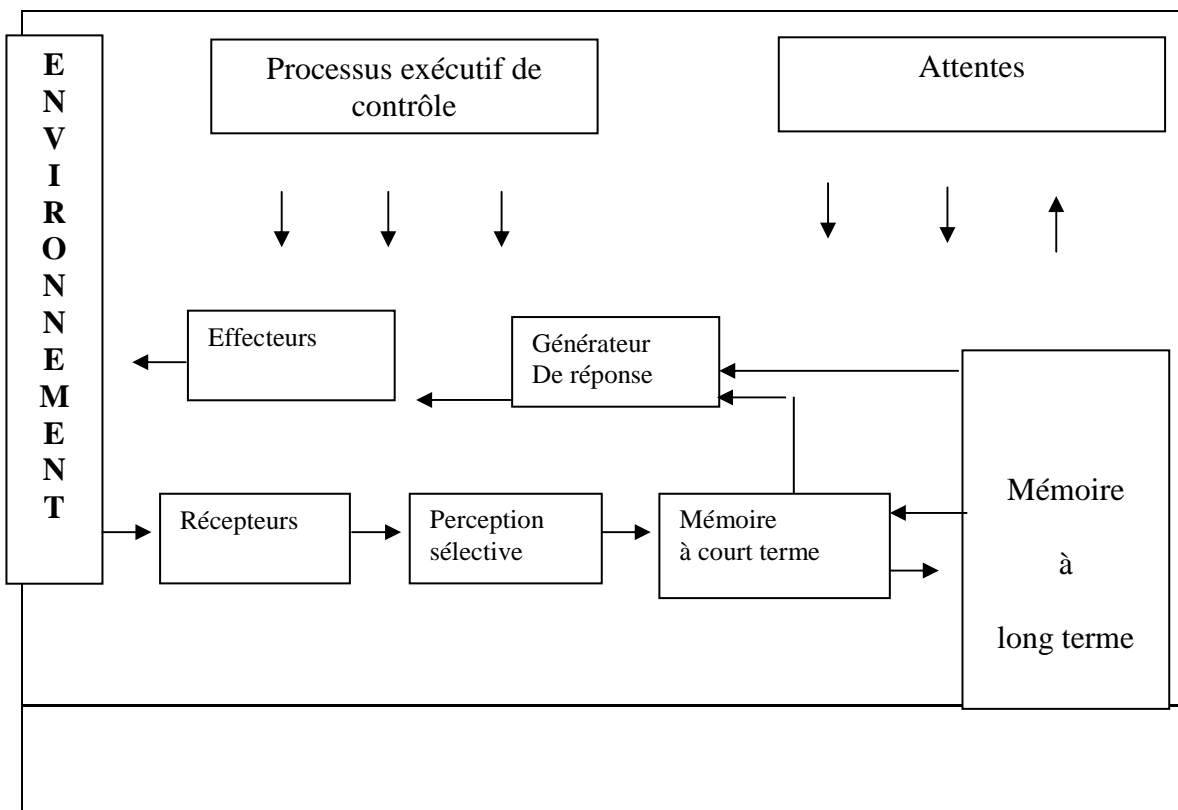
Le concept de système de traitement de l'information (STI) a été développé par Newell et Simon à partir des années 60. Leur schéma de base sera ultérieurement repris par Atkinson et Shiffrin en 1968, et encore par Anderson (1983).

Tableau 13 : modèle initial proposé par Newell et Simon (1960)



Pour expliquer le trajet de l'information au travers des structures hypothétiques du cerveau humain, et supposées en totale analogie avec celles de l'ordinateur, prenons l'exemple d'un formateur qui pose une question à un élève : « combien font (4x3) ? Nous pouvons imaginer le parcours de cette information jusqu'à la production de la réponse. Nous nous référons ici au schéma du fonctionnement représenté par le tableau 14, qui est une variante du modèle d'Atkinson et Shiffrin, proposée par Gagné (1974).

Tableau 14 : Modèle du traitement de l'information proposé par Atkinson R.C. et Shiffrin R.M. (1968), modifié par Gagné R.M. (1974)



Parmi toutes les informations disponibles (la barbe hirsute de l'animateur, la façon dont il est habillé...), seule une partie sera perçue et codée par le registre sensoriel de l'élève (perception sélective), grâce à l'intervention du processus exécutif de contrôle (que certains auteurs assimilent aux stratégies cognitives), et du registre des attentes. L'information sélectionnée transite ensuite par la mémoire à court terme. Le processus exécutif de contrôle (qui correspond au microprocesseur) active les systèmes qui vont chercher l'information souhaitée dans la mémoire à long terme, c'est-à-dire le résultat de l'opération (4x3). La réponse passe dans le générateur de réponses qui lui donne la forme adéquate (ici une réponse verbale). Celle-ci est alors réalisée par l'intermédiaire des effecteurs. Ces structures sont bien sûr, complètement hypothétiques et ne présentent, excepté les récepteurs et les effecteurs, aucune réalité.

Un tel modèle suppose un traitement séquentiel de l'information. Rien d'étonnant à cela, puisque la métaphore qui sert de base à cette formalisation de la pensée, c'est l'ordinateur.

Or dès son avènement, et jusqu'à une date très récente (la fin des années 80), l'ordinateur (du plus élémentaire au plus sophistiqué) est construit selon une architecture « de type Von Neumann », c'est-à-dire précisément un traitement en séquences des informations symboliques.

Tisseau (1996) décrit ce type d'ordinateur en ces termes :

« L'ordinateur de type Von Neumann est constitué d'une mémoire dans laquelle sont entreposées des données, et d'un processeur chargé de gérer des calculs et de contrôler le fonctionnement général. La dissociation « données/procédures de calcul » caractérise donc ce type d'ordinateur.

Du fait de cette architecture, les calculs sont gérés de manière séquentielle, à partir d'algorithmes de traitement, donc toujours l'un après l'autre.

La machine est une machine à « états discrets », ce qui signifie qu'entre les calculs il n'y a rien. En conséquence, quelle que soit la vitesse à laquelle s'exécutent ces calculs, des limitations à ces capacités de traitement interviennent.

Cette machine est, en outre, conçue selon un principe représentationnel, ce qui signifie que les données sont stockées à une adresse déterminée sous forme de symboles, et que la signification des données est tirée de ces symboles. » (p.235).

Les informations sont reçues par des récepteurs et transformées en symboles véhiculant du sens. Ces symboles représentent ce à quoi ils correspondent, c'est-à-dire leurs référents ; par exemple les mots ampèremètre, balance, sont les « étiquettes » des objets AMPEREMETRE, BALANCE. Ils sont décodés par le cerveau qui va chercher en mémoire les significations véhiculées par ces symboles. Selon ces théories du modèle du traitement de l'information, le monde préexiste à l'individu, ce dernier n'étant qu'une machine à traiter l'information objective qui lui parvient de l'extérieur. Le monde tel que nous le percevons est indépendant de celui qui le perçoit.

Nous reviendrons ultérieurement et de manière plus précise sur le fonctionnement de ce modèle dans les parties réservées aux concepts de base du paradigme du traitement de l'information.

II.2.4.2.2. Les concepts de base du modèle du traitement de l'information.

Nous mettrons essentiellement l'accent sur les concepts de connaissance, de mémoire, de représentation et de résolution de problème qui permettent d'éclairer le thème central de notre recherche : la résolution de problème en contexte scolaire dans le champ disciplinaire de la physique et de la chimie. Mais au passage, la perception et l'attention seront également explicités à la lumière de la recherche en psychologie cognitive.

II.2.4.2.2.1. Les connaissances

En psychologie cognitive une connaissance est constituée par la signification, le sens qu'un sujet attribue à une expérience vécue. Ce sont ces mêmes significations qui vont guider les activités présentes et futures. On assiste ainsi à une réhabilitation des connaissances longtemps négligées dans les recherches psychologiques au profit de processus jugés plus valorisants tels que l'insight, la créativité, l'intelligence ou la résolution de problème. Grâce à la psychologie cognitive, les connaissances sont revenues au cœur de la problématique de la cognition.

Ce rôle des connaissances antérieures dans l'action présente a été déjà identifié par Ausubel (1960, 1968) dans sa théorie de l'apprentissage signifiant. Les connaissances d'un individu sont donc constituées par un faisceau de sens qui représentent sa structure cognitive.

La diversité des significations tirées de nos expériences implique l'existence d'une gamme variée de connaissances indispensables à la réalisation de tâches complexes.

Les recherches récentes sur la cognition (Geary et Wideman, 1987) ont montré la nécessité de disposer de plusieurs types de connaissances face aux tâches complexes.

Mieux, le rôle des connaissances se situe à la fois en aval et en amont des processus cognitifs tels que la perception, l'attention, la conservation des nouvelles connaissances dans la mémoire et la résolution de problème. En particulier, le rôle des connaissances et stratégies spécifiques constituent une donnée fondamentale des acquis de la recherche sur l'apprentissage et la résolution de problème (Tardif, 1992).

Toutes les connaissances ne sont donc pas du même type? Comment alors les classer compte tenu de la diversité des expériences et de la spécificité des tâches ?

Une première catégorisation des connaissances découle de la théorie de l'acquisition des connaissances de Neves et Anderson (1981).

Ces deux chercheurs partent de l'hypothèse que l'acquisition des connaissances se fait selon un processus comportant trois étapes distinctes : l'encodage, la procéduralisation et la composition ou l'organisation. Cette démarche d'analyse se démarque ainsi de l'hypothèse traditionnelle de la recherche en psychologie consistant, à ramener l'étude de tout phénomène, à une tâche aussi simple que possible.

Selon le modèle de Neves et Anderson (1981), les connaissances sont d'abord enregistrées (encodées) sous forme d'un ensemble de faits relatifs à un domaine. Cette forme de connaissance définit une catégorie constituant les connaissances déclaratives. Ce sont des informations dites passives que l'on peut restituer ou déclarer sans aucune modification, sans aucun traitement (voir tableau 15 suivant illustrant le concept de connaissances déclaratives).

Tableau 15 : Exemples de connaissances déclaratives

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Le chlore appartient à la famille des halogènes- L'eau est constituée des éléments oxygène et hydrogène.- Des volumes égaux de gaz pris dans les mêmes conditions de température et de pression renferment le même nombre de molécules. (Loi d'Avogadro)- L'intensité de l'induction magnétique créée par une spire circulaire parcourue par courant électrique est proportionnelle à l'intensité de ce courant. |
|---|

Mais les connaissances déclaratives bien qu'utiles, ne permettent pas à l'individu d'aller directement vers l'action. Face à une tâche, le sujet doit d'abord procéder à des traitements sous forme d'interprétations pour aller à l'action. En termes ergonomiques le travail à effectuer sera lent et les performances sont souvent limitées. On perçoit déjà les conséquences didactiques d'un apprentissage basé uniquement sur l'enregistrement d'informations si fidèle soit-il, particulièrement en situation de résolution de problème.

Dans la deuxième phase d'acquisition de connaissances selon Neves et Anderson, les faits déclaratifs sont transformés en procédures articulées entre elles. C'est un niveau d'acquisition où le sujet acquiert des connaissances dites procédurales. Celles-ci peuvent être appliquées directement sans interprétation. Les connaissances procédurales sont constituées par des habiletés à traiter les connaissances déclaratives pour atteindre un but fixé.

La conséquence ou l'intérêt de la procéduralisation est que lorsque les informations sont articulées en procédures (on retrouve avec une nouvelle formulation le concept de schème cher à Piaget), il s'opère au niveau de l'individu un désencombrement de la mémoire, ce qui se traduit par une plus grande rapidité d'action et de meilleures performances.

Tableau 16 : Exemples de connaissances procédurales

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- appliquer des critères- projeter les forces appliquées à un solide sur un système d'axes.- utiliser une méthode d'approximation lors de la résolution d'un problème de physique- appliquer un algorithme- équilibrer une équation chimique- représenter un système de forces appliquées à un solide |
|--|

Dans la troisième étape du modèle de Neves et Anderson (1981), la composition les procédures sont intégrées et combinées. Ce sont des connaissances d'intégration. Du fait de leur efficacité face à une tâche à effectuer, les connaissances d'intégration sont parfois désignées par le terme de connaissances stratégiques. La poursuite de

l'acquisition de ce type de connaissance dans le cadre d'une formation est appelée objectif terminal d'intégration (De Ketele, 1985). Ce terme a l'avantage d'être plus explicite que le concept d'objectif général généralement utilisé dans les plans de formation.

La phase de composition est une suite dans le processus d'acquisition de connaissances. L'apprenant continue son apprentissage avec plus d'efficacité et de meilleures performances. La théorie d'acquisition de connaissances de Neves et Anderson est en fait un modèle d'apprentissage.

La classification en termes de connaissances déclaratives, connaissances procédurales et d'intégration a été ensuite affinée par l'introduction des connaissances contextuelles plus souvent appelées connaissances conditionnelles (Anderson, 1983, 1985 ; Glover et al. 1990). En réalité, les connaissances d'intégration et les connaissances conditionnelles se recoupent.

En effet toute connaissance s'acquiert dans un contexte spécifique : un lieu, un moment un environnement, en même temps, à la suite ou après un événement. Le sens donné à un événement et sa structuration ne peuvent se faire en dehors d'un contexte. Les effets des contextes sur l'éducation ont d'ailleurs été mis en évidence depuis longtemps par le courant gestaltiste, un des précurseurs de la psychologie cognitive.

L'émergence du concept de connaissances conditionnelles découle de l'étude des facteurs qui influent sur l'apprentissage. Wang, Haertel et Walberg (1990), dans le cadre d'une méta-analyse sur l'apprentissage, ont montré que par rapport à l'élève, les facteurs liés à la gestion de la compréhension, au contrôle affectif du niveau d'attention et de perception au cours de la réalisation d'une tâche sont déterminants. Cette prise de conscience apparaît d'ailleurs comme une caractéristique de l'expert, ce qui lui permet d'utiliser des stratégies efficaces et économes.

Anderson (1983, 1988) a beaucoup contribué à la construction du concept de connaissances conditionnelles. Celles-ci permettent de répondre, face à une tâche, aux deux questions suivantes : pourquoi et quand utiliser des connaissances déclaratives ou procédurales ?

Ce sont donc ces connaissances conditionnelles qui permettent le transfert de connaissances par une lecture appropriées du contexte et des conditions. Ce sont effectivement des connaissances stratégiques (Glover et al.,1990). L'importance des connaissances conditionnelles dans les performances des apprenants dans la résolution des problèmes de mécanique a été récemment confirmée par Bugéreré (1998).

Le tableau 17 suivant permet d'illustrer le concept de connaissances conditionnelles dans le cadre de l'enseignement de la physique et de la chimie.

Tableau 17 : Exemples de connaissances conditionnelles

<ul style="list-style-type: none">- les critères d'identification de la nature d'un problème de mécanique ;- les indicateurs permettant de sélectionner une méthode de résolution (application de la 2^{ème} loi de Newton, du théorème de l'énergie cinétique ou de la loi de conservation de l'énergie) ;- les critères de choix d'un système de coordonnées appropriées pour traduire les lois de la mécanique ;- le mode de gestion du temps imparti à une épreuve de physique comportant plusieurs exercices à partir d'un barème et des niveaux de difficultés variables ;- la connaissance de ses points forts et des ses points faibles par rapport aux différentes parties d'une épreuve.
--

Les connaissances conditionnelles, contextuelles ou stratégiques peuvent être mises en relation, sous certains aspects, avec le concept de métacognition (Noël, 1991).

En effet, la métacognition met l'accent sur l'importance des procédures de contrôle et de régulation du fonctionnement de l'être humain et des conditions d'utilisation de ses connaissances déclaratives et procédurales. Elle se réfère aux connaissances dont dispose un individu à propos de son propre fonctionnement intellectuel. Ainsi, le sujet impliqué dans des processus intellectuels est lui-même un élément du contexte de la cognition. Les connaissances métacognitives s'appuient sur au moins trois dimensions :

- la prise de conscience de la nature du processus dans lequel le sujet est engagé ;
- le diagnostic situationnel qui permet d'établir les difficultés et les exigences de la tâche ;
- le contrôle qui permet d'avoir une idée précise sur l'évolution du processus.

Glover et al. (1990) adoptent une autre approche pour classer les connaissances, avec des critères différents. Ils distinguent trois catégories de connaissances : les connaissances spécifiques, les connaissances générales et les connaissances stratégiques. Chacun de ces types de connaissances détermine les performances dans les tâches complexes.

La description des connaissances suivant l'axe général/spécifique n'introduit pas de nouvelles catégories transversales. Il s'agit d'une distinction entre les connaissances propres à un domaine et les connaissances qui transcendent les barrières disciplinaires.

Les connaissances spécifiques sont des connaissances propres à un domaine particulier tel que la chimie et la physique. Le niveau de spécificité peut toujours être affiné. On peut parler de degré de spécificité. Par exemple au sein de la discipline « chimie » on peut distinguer des connaissances relatives à la chimie générale, à la chimie organique, à la cinétique chimique, à la biochimie...

Le tableau suivant illustre cette relativité à partir de connaissances choisies dans le domaine de la physique et de la chimie.

Tableau 18 : Illustration du degré de spécificité des connaissances : spécifique/très spécifique

Domaine	Niveau spécifique	Très spécifique
chimie	Structure de la matière	Structure moléculaire
chimie	Equilibrer une équation chimique	Equilibrer une réaction d'oxydoréduction
physique	Visualiser un signal électrique	Visualiser une tension continue à l'oscilloscope
physique	Adapter une source de tension	Réaliser un montage potentiométrique

Les connaissances générales sont des connaissances qui ne sont pas spécifiques à la réalisation d'une tâche. Elles interviennent dans une gamme très variée de tâches. Leur étendue varie suivant la culture et le niveau de développement de la société.

Ce sont des connaissances liées au vocabulaire, à la connaissance des affaires courantes, à des informations historiques, à certaines compétences utilitaires de base. Ici également on peut distinguer un niveau général et un niveau très général comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 19 : Illustration du degré de généralité des connaissances :
général/très général**

Domaine	Très général	Général
physique ou chimie	Les concepts généraux de la démarche scientifique	Les concepts généraux de la démarche expérimentale
physique	La loi de modération	La loi de Lenz (physique)
chimie	La loi de modération	Les lois de déplacement de l'équilibre
Physique	Le principe de superposition	L'additivité de champs électriques

En plus de ces connaissances relatives à des disciplines scientifiques très conceptualisées comme la physique et la chimie, il existe un ensemble de connaissances générales particulièrement utiles dans une société moderne. Il s'agit parfois de connaissances d'abord spécifiques à une discipline (sciences, économie, droit, technique), mais qui, du fait de leur nécessité pratique dans les sociétés actuelles tendent à constituer un corps de connaissances qu'on pourrait appeler " connaissances du citoyen moderne ".

Ces connaissances " citoyennes " se renouvellent et s'enrichissent sans cesse au rythme de l'évolution technologique et de l'émergence de nouveaux problèmes de société.

Tableau 20 : Exemples de connaissances générales

<ul style="list-style-type: none"> - la maîtrise de l'anglais, la langue la plus utilisée dans les relations internationales, particulièrement dans le monde des affaires ; - les connaissances relatives à l'établissement d'un contrat entre deux parties ; - les connaissances relatives aux conditions d'accès à un pays étranger ; - le glossaire des termes techniques liés aux nouvelles technologies de l'information et de la communication ; - les techniques d'évaluation des limites et des contraintes d'une situation de prise de décision ; - les méthodes et techniques relatives aux opérations bancaires et postales de manipulation de fonds ; - les connaissances relatives au fonctionnement et à la conduite d'une voiture ; - les techniques et méthodes de secours en cas d'accident ou sinistre ; - l'utilisation d'un courrier électronique ; - la navigation sur le réseau INTERNET.

Les distinctions faites par Glover et al. (1990) ne font que compléter la trilogie connaissances déclaratives/connaissances procédurales/connaissances conditionnelles. Leurs relations peuvent être mises en évidence dans le tableau croisé suivant, en se limitant à la dichotomie "général/spécifique".

Tableau 21 : Tableau croisé des deux approches du concept de connaissances

	Général	Spécifique
Connaissances déclaratives	L'eau est indispensable à la vie	La femelle du mouton est appelée brebis (biologie)
Connaissances procédurales	Accomplir les formalités de voyage par avion d'un pays à un autre	Modéliser un phénomène à partir d'un tableau de nombres (physique et chimie)
Connaissances conditionnelles	Les critères de validité de documents de voyage	Les critères permettant d'appliquer le théorème de l'énergie cinétique dans la résolution d'un problème de mécanique (physique)

Ainsi, on peut envisager, comme l'illustre le tableau ci-dessus, des connaissances déclaratives générales/spécifiques, des connaissances conditionnelles générales/spécifiques ou des connaissances procédurales générales/spécifiques.

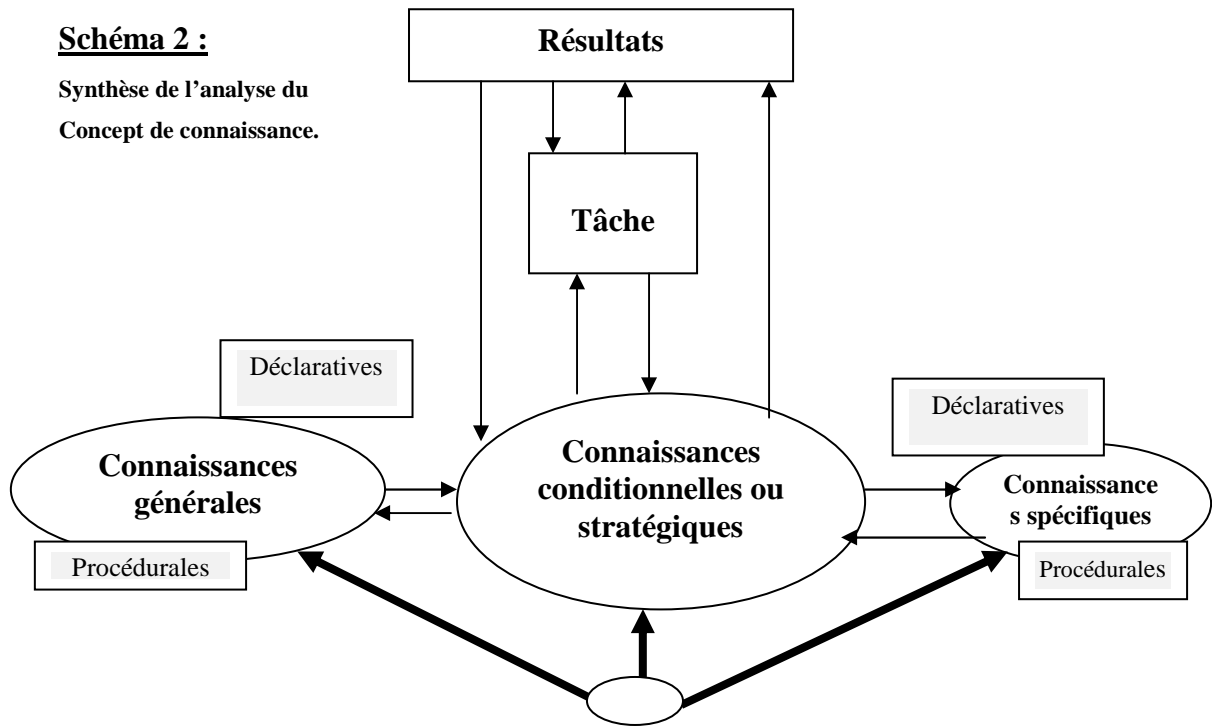
Cependant les tâches académiques ou scolaires, de même que la plupart des tâches de la vie courante font appel à toutes les catégories de connaissances qui viennent d'être décrites.

On perçoit nettement à travers ces exemples les limites de ces classifications. Les différentes catégories identifiées sont loin d'être disjointes. Elles permettent cependant d'avoir des repères pour prendre en compte la complexité de nos connaissances actuelles.

Le schéma suivant se propose d'articuler les différentes catégories de connaissances autour d'une tâche entendue au sens d'une ou de plusieurs actions à accomplir en vue d'un résultat souhaité.

Schéma 2 :

Synthèse de l'analyse du
Concept de connaissance.



Ce schéma montre nettement les rapports dynamiques entre les différents types de connaissances face à une tâche : les connaissances stratégiques organisent la conception, la mise en œuvre, la régulation et l'évaluation des actions à combiner pour aboutir à un résultat, à partir des connaissances générales et des connaissances spécifiques, chacune de ces dernières catégories pouvant être déclarative ou procédurale.

Une question reste cependant en suspens. Le modèle d'acquisition des connaissances de Neves et Anderson (1981), est plutôt comme on l'a souligné plus haut, une théorie de l'apprentissage. Il n'explicite pas cependant au niveau des processus comment s'acquièrent les connaissances. Le modèle du traitement de l'information (MTI) propose des réponses.

En effet, dans le cadre de ce courant psychologique, les expériences humaines sont d'abord perçues par des registres sensoriels correspondant à nos différents sens, avant d'être transformées en structures de connaissances : cela met en jeu le phénomène de perception.

II.2.4.2.2. 2. La perception

La perception est le phénomène de la sensibilité par rapport à un stimulus. Les recherches ont surtout mis l'accent sur la vision et l'ouïe, soit pour en établir l'existence en tant que registre sensoriel, soit pour en étudier les caractéristiques.

C'est ainsi que Sperling (1960) a particulièrement étudié la vision. En appliquant sa méthode du rappel partiel, il a établi trois résultats importants sur la perception visuelle :

- l'être humain est capable de conserver une information visuelle qui lui est présentée même après la disparition du stimulus.
- le temps de rétention d'une information visuelle ne peut dépasser la moitié d'une seconde
- ces deux résultats semblent indépendants du sens donné à l'information.

Darwin, Turvey et Crowder (1972), ont, quant à eux, axé leurs travaux sur la perception des stimulus sonores, à l'image des travaux de Sperling sur la vision. Darwin et ses collègues ont abouti à des résultats qui présentent quelques analogies avec ceux de Sperling (1960), même si des différences nettes ont été observées.

C'est ainsi que le temps de rétention est plus long pour les informations sonores (3 secondes au lieu de 0.5 s). Schwab & Nusbaum (1986), attribuent cette différence au processus du langage.

De même, l'effet de la modalité établi par Pisoni & Luce a montré que les sujets en général, retenaient mieux les informations présentées verbalement que celles exposées sous forme visuelle : "l'écho sonore" semble plus large que l'écho visuel. Le phénomène d'écho apparaît ainsi comme une composante importante de notre système cognitif. Ce dernier aspect a cependant été relativisé dans des recherches ultérieures (Deutsch, 1987), notamment avec les différences notées entre les voyelles et les consonnes.

Ces différentes recherches tendent à montrer que le phénomène de perception constitue le début du processus de traitement de l'information. Les registres sensoriels auditifs et visuels ne constituent cependant que la phase primaire de la perception. La phase supérieure de la perception consiste en effet à donner du sens au stimuli. C'est un phénomène qui passe très souvent inaperçu à moins que le sujet ne soit soumis à des

stimulus inhabituels. La perception fait appel à nos connaissances et apparaît comme le résultat d'un ensemble de sous-processus (Brown & Carr, 1988).

La façon de percevoir d'un individu dépend grandement de ses connaissances. Le jeu d'échecs constitue un exemple classique d'illustration. La même phase de jeu est perçue différemment du débutant au grand maître. Quant à celui qui n'a jamais joué à ce jeu, les déplacements des différentes pièces lui semblent relever de la pure fantaisie des joueurs.

Mais qu'est-ce qui guide notre perception ?

Selon Mandler (1988) nos connaissances, mais aussi la façon dont nous les enregistrons, nos sentiments et le contexte dans lequel le stimulus intervient, guident toute notre perception, avec des effets de discrimination, et/ou d'accentuation.

Ces considérations sur la perception sont naturellement lourdes de conséquences pour l'enseignement, particulièrement dans la structuration du cours, dans l'identification des pré-requis et le choix du matériel didactique. En effet, les situations de résolution de problème auxquelles les apprenants sont soumis, mettent en jeu des énoncés contenant des schémas, des données à la fois qualitatives et quantitatives. Les élèves sont donc d'abord confrontés à des problèmes de perception, avant de se lancer dans des tâches intellectuelles.

Le rôle du contexte dans le phénomène de perception a été particulièrement étudié par la Gestalt-théorie psychologie, ce courant de pensée fondée par Wertheimer, Koffka et Köhler et qui a joué un rôle fondamental dans le développement de la psychologie cognitive (Koffka, 1933).

Piaget (1969) a également mené des recherches sur la perception dans le cadre des principes de la Gestalt-théorie psychologie. Pour Piaget, la cognition et la perception sont deux processus très liés. L'un de ces arguments est la diminution de l'égoцентризм de l'enfant au fur et à mesure de son développement mental. Piaget fait une analogie entre la centration cognitive (tendance à ne considérer qu'une dimension du problème), et la centration perceptuelle (tendance à ne considérer qu'un aspect d'un stimulus).

Les deux premiers concepts abordés, dans le cadre théorique de la psychologie cognitive, la connaissance et la perception apparaissent ainsi comme intimement liés :

la perception est déterminée par nos connaissances antérieures, qui elles-mêmes sont les résultats de nos expériences auxquelles nous avons donné un sens. Cette remarque montre que la psychologie cognitive se démarque de toute approche linéaire des processus psychologiques.

Mais l'individu est rarement soumis à un seul stimulus. Il se pose alors un problème de sélection. Celle-ci est liée à un autre concept de la psychologie de la connaissance : le phénomène d'attention.

II.2.4.2.2.3. L'attention

Un autre concept important de la psychologie cognitive est constitué par l'attention, qui interfère avec la perception. L'attention est perçue selon Glover et al. (1990), comme l'ensemble des ressources cognitives qu'une personne peut mobiliser face à une tâche ou une situation données.

Cette approche considère l'attention comme un processus de mobilisation de ressources cognitives en vue de la réalisation d'une tâche. Cette tâche peut se ramener à une simple prise d'information qui, comme on le sait requiert de l'attention. Mais l'attention, c'est aussi l'effet produit par cette mobilisation de ressources cognitives. On retrouve là un dualisme processus/résultat caractéristique de la plupart des concepts psychologiques qui désignent souvent à la fois un processus et le résultat de ce processus.

La littérature sur le phénomène d'attention notamment Glover et al (1990), Gagné (1985), met l'accent sur l'existence de trois grands modèles, qui ont été l'objet d'expérimentations :

- le modèle de la sélection précoce de Broadbent (1958, 1975)
- le modèle du traitement atténué de Triesman (1964)
- le modèle du traitement entier de Shiffrin (1976, 1977)

Le modèle de Broadbent repose sur l'hypothèse que l'attention portée à un stimulus intervient très tôt dans le processus d'analyse d'une information. L'attention sélective serait due à la faible capacité de traitement de l'information de nos registres sensoriels par lesquels se fait la perception. On explique ainsi la perte de la plupart des informations de l'environnement qui n'auront pas été l'objet d'un traitement.

Sur le plan didactique, l'attention sélective pose le problème du volume et du débit d'informations à livrer dans le cadre d'un enseignement. Les techniques de prise de note dans un cours ne devraient pas ignorer ces résultats de recherche. De même, dans un contexte plus statique, certains énoncés dans le cadre des activités de résolution de problème sont parfois surchargés d'informations qui ne sont pas toujours liées aux objectifs à évaluer. Il faut noter cependant, que cette surcharge d'informations peut correspondre à des intentions précises, dans le cadre de l'évaluation des capacités de l'apprenant à faire une discrimination entre les informations utiles et les données non pertinentes, face à une tâche donnée.

Les nombreuses expériences menées autour du modèle de Broadbent, par l'utilisation de la méthode des tâches d'écoute dichotomiques, notamment par Triesman ont fini par en déceler des limites certaines, ce qui devait conduire à la recherche d'un modèle plus performant.

Dans le modèle du traitement atténué, Triesman reconduit le principe des capacités limitées des registres sensoriels, mais leur associe l'existence de plusieurs canaux d'information utilisés simultanément. Les limites des capacités de traitement feraient alors que suivant les canaux empruntés, certaines informations sont entièrement traitées, alors que d'autres ne le sont que partiellement (Triesman et Geffen, 1967).

Enfin le modèle du traitement entier dit modèle de Shiffrin (1976, 1977) considère que l'attention sélective sur un stimulus se fait après le processus de reconnaissance de l'information, c'est-à-dire après son traitement. Les limites des capacités d'attention seraient dues plutôt aux limites de la capacité de rétention de la mémoire de travail, concept qui sera explicité ultérieurement.

Les modèles concurrents à propos du phénomène de l'attention, ont été appuyés, chacun en ce qui les concerne, par des résultats de recherche. Les différences entre les résultats obtenus seraient dues aux différences entre les ressources cognitives à mobiliser dans les tâches auxquelles les différents sujets étaient confrontés (Nusbaum et Schab, 1986). Les ressources cognitives concernent la capacité de la mémoire, le nombre de canaux offerts aux intrants, l'effort cognitif etc.

Ainsi, le modèle de la sélection précoce de Broadbent se justifierait par la présence au niveau d'un sujet de procédures automatiques nécessitant très peu de ressources cognitives. La conduite d'une voiture constitue une belle illustration.

Le modèle du traitement atténué de Triesman a été testé sur des tâches à ressources limitatives (plus les ressources sont mobilisées, plus la performance est grande), alors que Shiffrin a surtout mené des expériences à partir de tâches à données limitatives (la performance est limitée par la qualité des données disponibles).

Ces résultats de recherche sur la perception et l'attention, particulièrement les limites établies des capacités de l'attention portée sur un stimulus et la relation de celle-ci avec la nature de la tâche constituent des données fondamentales pour les enseignants, particulièrement pour les disciplines scientifiques, où la résolution de problème est une activité centrale.

Mais les connaissances, qu'elles soient déclaratives, procédurales, conditionnelles ou stratégiques sont stockées dans la mémoire. Après les connaissances, la mémoire constitue l'un des concepts de base de la psychologie cognitive.

II.2.4.2.2.4. Mémoire et représentations

L'étude scientifique de la mémoire a débuté avec Hermann Ebbinghaus (1850-1909) utilisant la méthode expérimentale. Mais sa première publication n'intervint qu'en 1885. Selon Glover et al. (1990), ce n'est qu'au début des années 1970 que des constructions théoriques valides ont été élaborées, qui ont fait faire d'énormes progrès à la description de la nature des phénomènes d'apprentissage, de la mémoire, le traitement et l'utilisation d'une information dotée de sens.

L'approche de Ebbinghaus (1913) consiste à explorer la mémoire de manière expérimentale à partir de la mémorisation d'informations simples telles qu'une liste de syllabes sans signification particulière. Ebbinghaus cherchait à mesurer le pouvoir de rétention de la mémoire. Mais en même temps il jetait les bases d'un paradigme de recherche qui allait durer près d'un siècle.

Le paradigme de recherche sur la mémoire fondé par Ebbinghaus reposait sur les hypothèses suivantes :

1. Les mots sont les unités mentales de base du langage.
2. Lorsqu'on utilise les unités ensemble, elles se lient et forment des unités plus grandes.
3. Les comportements complexes et les séquences de pensée sont constitués à partir des unités simples.
4. Les mécanismes qui produisent l'apprentissage et la mémorisation sont considérés comme automatiques.

Les théories sur la mémoire basées sur l'apprentissage par cœur et l'extension de principes de base des comportements simples aux comportements complexes ne s'intéressaient pas directement aux processus cognitifs complexes doués de sens, tout à l'opposé de la psychologie cognitive.

En prenant la mémoire comme objet, les psychologues cognitivistes se sont posés un ensemble de questions :

- quelle est la nature des connaissances ?
- comment les connaissances sont-elles stockées ?
- y'a-t-il une différence fondamentale entre un savoir et un savoir-faire ?
- notre expérience personnelle conduit-elle à un stockage spécifique dans les différents domaines de savoir ?
- la mémoire langagière est-elle différente de la mémoire imagée ?
- la mémorisation d'événements récents est-elle la même que celle d'événements plus lointains ?

Pour répondre à ces questions, des modèles ont été proposés et des théories élaborées. C'est ainsi que Tulving (1972,1983, 1985) propose d'abord de faire la distinction entre la mémoire épisodique et la mémoire sémantique.

La mémoire épisode est constituée par les traces de l'expérience personnelle : vécu, date, circonstances, contexte...Quant à la mémoire sémantique, elle renvoie à l'enregistrement et au rappel des concepts et principes généraux. La mémoire sémantique n'est pas associée à un lieu ou à un moment : elle contient l'organisation des connaissances que nous avons des mots, des concepts et comment ceux-ci sont associés.

La catégorisation de Tulving ne correspond pas à une distinction physique au niveau du cerveau. Il s'agit plutôt d'une séparation conceptuelle fonctionnelle, indispensable au chercheur. Bien que critiquée dans le fond, le dualisme mémoire épisodique/mémoire sémantique continue encore d'alimenter la réflexion à propos de la nature des informations destinées au stockage et au rappel.

La distinction entre connaissances déclaratives et connaissances procédurales (Nevers et Anderson, 1981 ; Anderson, 1983, 1985), constitue un autre résultat sur l'étude de la mémoire. En effet elle est très fonctionnelle dans la description des connaissances que les apprenants doivent maîtriser. En réalité l'approche "déclaratif / procédural" est sous-jacente à de nombreux travaux sur les théories de l'apprentissage ou les modèles de la connaissance (Gagné, 1977 ; Bloom et al., 1969).

Une question essentielle est cependant restée encore sans réponse: Comment les informations sont-elles stockées en mémoire ?

Alan Paivio (1971, 1986b) propose dans sa théorie du codage dual ou double codage, que l'information puisse être repérée en mémoire par deux composantes principales : l'information verbale et l'information visuelle.

Ainsi le système de codage verbal est adapté aux informations basées sur le langage et met l'accent sur les associations verbales : mots, phrases, contenu des conversations, histoires, événements... Les informations non verbales sont stockées par un système de codage visuel.

Paivio et ses collègues ont mis en évidence l'importance des référents concrets : les informations verbales associées à des images facilitent l'apprentissage et la mémorisation.

La recherche sur la mémoire humaine s'est enrichie ensuite d'un courant qui a mis l'accent sur la conservation de l'information en fonction du temps. C'est ainsi que les concepts de mémoire à court terme (MCT) et de mémoire à long terme (MLT) ont été avancés. (Broadbent, 1958 ; Brown, 1958 ; Melton, 1963). Plusieurs distinctions ont été faites entre la MCT et la MLT.

La mémoire à court terme mettrait en jeu les informations liées à des activités alors que la MLT constituerait les traces des structures d'information. En d'autres termes la MCT serait dépendante des activités électrochimiques du cerveau, alors que la MLT

concernerait les changements relativement stables dans la structure des cellules du cerveau. Cependant, alors que la mémoire à court terme déclinerait de manière autonome en fonction de l'attention du sujet, la MLT repose quant à elle sur des traces irréversibles et stables.

Enfin, en matière de capacité de rétention, la mémoire à court terme est limitée alors que la mémoire à long terme a des capacités pratiquement illimitées.

Cette distinction a été un principe de base des premiers modèles de la mémoire. (Atkinson et Shiffrin, 1968). Mais des modèles plus récents privilégient les processus et les structures cognitives à la place du stockage de l'information (Anderson, 1983a ; Collins et Loftus, 1975 ; Jenkins , 1974).

Les unités cognitives de base ou « chunks » :

La mémoire humaine articulée avec la nécessité du sens apparaît comme constituée de structures cognitives. Cinq concepts ont été proposés dans ce nouveau paradigme de l'étude de la mémoire : les unités de base ou « chunks », les concepts, les propositions, les productions et les schèmes.

Le « chunk » est constitué de tout stimulus (lettre, nombres, symboles, mots, phrase) que notre expérience passée conçoit comme une unité. (Simon, 1986) Mais l'unité des structures cognitives n'est pas figée. L'apprentissage permet d'enrichir les « chunks » de la mémoire d'un sujet par la construction de nouveaux « chunk » dans un processus de recodage. La capacité de la mémoire se mesure donc en « chunks », unités d'information dont le contenu de symboles élémentaires est variable. Ce concept permet de mettre l'accent sur l'importance des connaissances initiales dans le processus de mémorisation.

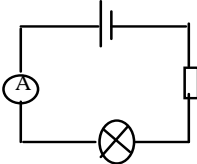
Les concepts

Le concept est une structure mentale permettant de représenter une catégorie. Les éléments d'une catégorie sont des exemples ou des instances : c'est le processus d'instanciation du concept.

Les caractères similaires aux éléments d'une catégorie sont appelés attributs. Les attributs essentiels qui permettent de définir un concept sont appelés attributs de définition. L'apprentissage d'un concept requiert la découverte des attributs de définition et la règle ou les règles qui relient les uns aux autres.

Le tableau 22 suivant illustre la relation entre concept, attributs et instanciation.

Tableau 22: Exemple d'illustration de la relation entre concept, attributs et instanciation.

Concepts	Alcane	Circuit électrique	Acide faible
attribut	<ul style="list-style-type: none"> - constitué des éléments C et H - composé saturé - composé tétraédrique 	<ul style="list-style-type: none"> - la même intensité dans tout le circuit - l'additivité des tensions 	<ul style="list-style-type: none"> - se dissocie partiellement dans l'eau - le pH est inférieur à 7
instanciation	<ul style="list-style-type: none"> - méthane - propane - butane 		<ul style="list-style-type: none"> - acide éthanoïque - acide propanoïque

L'étude du concept en psychologie cognitive a mobilisé les chercheurs dans l'élaboration de théories. Le problème posé était de savoir comment identifier et acquérir des concepts.

La théorie de la structure conceptuelle basée sur des règles est due à Bruner(1956) et son équipe. Ces chercheurs ont montré que la plupart des individus résolvent le problème de l'identification des concepts en formulant des hypothèses sur les attributs pertinents, et choisissent leurs stimuli en fonction de cela. Mieux Bruner et ses collègues mettent en évidence un deuxième niveau d'identification qui consiste à mettre l'accent sur les règles qui lient les attributs spécifiques à un concept.

Les règles les plus simples incluent une affirmation (exemple: tout circuit électrique qui comporte un nœud est un circuit dérivé), une négation (exemple: tout circuit électrique qui ne comporte pas de nœud est un circuit série). Ici il n'y a qu'un seul attribut, le nœud.

La plupart des concepts étudiés mettent cependant en jeu plus d'un attribut, et donc leur identification s'appuie sur des règles plus complexes. Parmi celles-ci on note :

- des règles conjonctives: le concept se définit par deux attributs ou plus. Exemple : une substance chimique appartient à la famille des alcanes si elle contient exclusivement les éléments carbone (C) et hydrogène (H) et que sa formule chimique est du type C_xH_{2x+2} , (trois attributs obligatoires).
- des règles disjonctives: un objet est instance d'un concept s'il a l'un ou l'autre attribut. Exemple: un composé organique oxygéné contient l'une des fonctions suivantes : la fonction acide carboxylique, la fonction alcool, la fonction aldéhyde, la fonction cétone...(un attribut suffit).

La théorie conceptuelle de l'identification des règles s'est appuyée sur des travaux de laboratoire sur la formation des concepts. Mais ce contexte artificiel ajouté aux difficultés à classer rigoureusement les concepts suivant des règles de base a fini par révéler les limites de la théorie de Bruner et ses collègues.

C'est ainsi que des théories basées sur les prototypes furent élaborées (Rosch et Mervis, 1975 ; Rosch, 1978). Selon cette théorie, l'appartenance à une classe conceptuelle est déterminée par le degré de similitude avec un exemple constituant un prototype.

Ces deux premières théories sur les concepts ont permis de classer plusieurs phénomènes naturels simples. Elles ont été donc relativement efficaces pour les sciences expérimentales comme la physique et la chimie. Cependant, elles ont rencontré des difficultés réelles à développer des catégories claires pour des concepts abstraits. C'est pourquoi, des chercheurs ont suggéré une théorie intégrant à la fois les règles et les prototypes, mais par une approche probabiliste (Wattenmaker, 1986). L'approche probabiliste ou statistique consiste à faire la somme des attributs d'appartenance et à faire la comparaison avec un critère implicite enregistré dans la mémoire du sujet. Si un objet atteint un seuil critique de propriétés caractéristiques du concept, il est considéré comme un exemple ou instance du concept.

Cependant, l'identification et l'apprentissage des concepts ou leur utilisation dans des tâches ne sont pas des démarches cognitives neutres. C'est pourquoi, les différentes théories que nous venons de présenter à propos des concepts mettent toutes en évidence

des différences culturelles très marquées, même pour des sphères géographiques relativement voisines telles que les pays de l'Europe de l'Ouest (Schwanefluged et Rey, 1986). Ces différences sont naturellement plus marquées pour les concepts abstraits tels que « juste », « honnête », « sage »... Cependant quelle que soit la culture, il est souhaitable que l'apprentissage conduise à une cohérence conceptuelle. Murphy et Medleu (1986).

Les propositions

Le troisième niveau des structures cognitives est constitué par les propositions. Une proposition est la plus petite unité de connaissance énoncée sous-forme d'assertion isolée et à propos de laquelle on peut émettre un jugement du type vrai ou faux (Anderson, 1976). C'est le moyen le plus courant par lequel les psychologues cognitivistes représentent les connaissances déclaratives, spécialement, les informations de type linguistique (Anderson, 1976 ; Rumelhart et Norman, 1978).

Certaines propositions ont des éléments en commun. Elles peuvent alors être articulées par des chaînes propositionnelles pour déboucher sur une production : c'est le quatrième niveau des structures cognitives. Une production peut être définie comme un ensemble de conditions et de règles d'action qui déterminent la réalisation d'une action et les conditions dans lesquelles cette action devrait être réalisée. (Glover et al., 1990)

Les productions

A l'image des propositions considérées comme les unités de base des connaissances déclaratives, les productions permettent d'exprimer des connaissances procédurales. Selon Anderson (1983) les productions peuvent être envisagées en termes de conditions, et de règles d'action permettant qui édictent les conditions dans lesquelles une action peut avoir lieu.

Exemple : En travaux pratiques d'électricité : si vous voulez limiter le courant qui traverse votre circuit, utilisez un rhéostat en montage potentiométrique.

Les productions ont un caractère mécanique : si les conditions sont réunies, l'action a lieu ou l'effet est observé. Mais l'idée de production présente plusieurs avantages.

D'abord, le concept de production rend bien compte de la nature automatique de la plupart des activités cognitives, mais également, il joue un rôle important dans la modélisation des processus cognitifs simulés par l'ordinateur.

Les productions sont, comme les propositions, organisées en réseaux appelés systèmes de productions. A partir de ces réseaux, plusieurs productions peuvent être activées à un moment donné. Les résultats sont testés à partir des connaissances courantes. Les résultats de l'application de ces productions permettent de modifier le contenu de la mémoire, d'actionner de nouvelles connaissances qui, à leur tour sollicitent de nouvelles productions. Les productions sont donc à la base de la dynamique des processus cognitifs.

Les schèmes

Enfin, le cinquième et dernier niveau de structure cognitive est constitué par les schèmes. La théorie des schèmes remonte très loin (Bartlett, 1932). Sa prégnance en psychologie s'installe dans les années 1970 (Piaget, 1970), mais surtout dans l'étude de la mémoire humaine.

Les « chunk » et les « concepts », en tant que structures cognitives ont été utiles aux théoriciens de la mémoire intéressés par la question de savoir comment des unités spécifiques de connaissances sont stockées dans la mémoire humaine et comment elles sont rappelées.

Les concepts de « proposition » et de « production » se sont révélés pertinents pour la recherche s'intéressant à une échelle d'organisation plus grande de la mémoire et à la question de savoir comment le savoir est utilisé pour interpréter notre expérience. La théorie des schèmes s'inscrit également dans cette problématique.

Le schème est un savoir organisé sous formes de représentations complexes, qui contrôlent l'encodage de la nouvelle information, son stockage en mémoire et son rappel en vue de son utilisation (Rumelhart, 1980a, 1981, 1984).

Selon Rumelhart (1981), les schèmes sont les structures fondamentales sur lesquelles repose tout le système de traitement de l'information. Ce sont des structures hypothétiques de données dans lesquelles les connaissances stockées en mémoire sont représentées, une sorte de réceptacles organisateurs de l'encodage. C'est un réseau de productions permettant d'utiliser nos connaissances et d'interpréter notre expérience.

La théorie des schèmes s'est révélée plus attrayante pour les éducateurs parce qu'elle aborde des problèmes quotidiens des apprenants et des enseignants. Même critiquée pour sa généralité, elle occupe cependant dans les recherches en psychologie une place plus importante que les théories des concepts. Initialement développé pour expliquer les phénomènes de perception et de mémoire, le concept de schème est devenu récemment un élément-clé dans la théorie de la résolution de problème (Gick et Holyoak, 1983 ; Holyoak, 1985 ; Rumelhart, 1984). La résolution de problème se révèle être l'activité intellectuelle supérieure qui nécessite une représentation initiale de la tâche en termes de schèmes et la construction d'un espace-problème. Ces aspects sur la résolution de problème seront repris et précisés ultérieurement.

Retour à la mémoire :

Les structures cognitives que nous venons de passer en revue dans le modèle de traitement de l'information constituent des hypothèses sur la forme que peuvent prendre les informations et les connaissances. Mais il reste encore à faire une sorte de topographie de la mémoire. Qu'est-ce donc la mémoire ?

De nombreux modèles ont été proposés pour répondre à cette question. Dans les années 1970, les modèles de mémoire les plus dominants étaient des modèles basés sur le stockage de l'information tels que ceux de Waugh et Norman (1965) et de Atkinson et Shiffrin (1968). Ces modèles décrivaient la cognition humaine comme le fonctionnement d'un ordinateur, un système de traitement de l'information, avec des étapes séquentielles au cours du passage des récepteurs et registres sensoriels, à la mémoire à court terme (MCT), puis à la mémoire à long terme (MLT).

Cette approche séquentielle de la cognition a cependant rapidement montré ses limites. La cognition n'est pas un processus divisible de manière mécanique. Par exemple, on a mis en évidence l'influence exercée sur la perception par les connaissances initiales contenues dans la mémoire à long terme. Cette réalité peut difficilement se décliner dans un schéma linéaire, comme le suggère le modèle computationniste.

Ces modèles computationnistes apparaissent statiques et incapables de prendre en charge la plupart des structures cognitives de nature essentiellement dynamique, qui permettent d'interpréter et de restructurer les nouvelles informations pour les insérer dans les anciennes connaissances.

La remise en cause de ces modèles rigides a conduit à des modèles de mémoire s'appuyant sur une structure de réseau. Dans ces modèles, les connaissances sont représentées par une toile ou des réseaux. Les réseaux sont conçus comme étant constitués de nœuds (unités cognitives = « chunks », concepts, propositions, productions, schèmes) et des liaisons qui unissent les unités cognitives. C'est dans ces réseaux que se déroule le processus de mémorisation.

Deux modèles en réseaux ont particulièrement retenu l'attention des chercheurs en psychologie cognitive.

Le modèle de Collins et Quillian (1969) ou « Teachable Language Comprehender (TLC) » amélioré par Collins et Loftus (1975), a été spécialement élaboré pour la mémoire sémantique. Dans ce modèle, la mémoire pourrait être représentée par un réseau sémantique organisé en structure hiérarchique: les nœuds sont des concepts hiérarchisés, les liaisons sont les attributs des concepts. Quand la mémoire est sollicitée, l'activation se propage à partir du nœud stimulé par l'intermédiaire des liaisons. L'activation s'élargit aux nœuds directement liés au nœud stimulé.

Mais le modèle TLC est limité par l'objet qu'il s'est choisi: la mémoire sémantique. Le modèle le plus explicite de la mémoire et de la cognition est peut-être le « ACT Model » de Anderson. (Anderson, 1976, 1983a, 1983b). Anderson avait pour ambition d'élaborer un cadre théorique simple capable de prendre en charge tous les aspects de la cognition : principe d'encodage initial de l'information, du stockage, du rappel, que ce soit des connaissances déclaratives ou procédurales.

Anderson propose des unités cognitives de base ou unités modales à dimension variable (mots à signification nominale, images, propositions mots), ensemble d'éléments (relations entre les unités et arguments des propositions). Les concepts d'activation et de propagation sont reconduits comme dans le modèle de Collins et Quillian (1969) et tous les modèles en réseaux. Le point de départ de l'activation est appelé point focal.

Le modèle de Anderson a été à l'origine de nombreuses recherches. Du fait de son étendue, il a été adapté à la fois à l'étude de la mémoire mais aussi aux investigations sur d'autres processus cognitifs tels que la résolution de problème.

Malgré le progrès que constituent les modèles de la mémoire et de la cognition conçue en termes de réseaux (Collins et Quillian, 1969 ; Collins et Loftus, 1975 ; Anderson, 1976, 1983a, 1983b) la base reste encore computationniste (Atkinson et Shiffrin, 1968). Les ordinateurs, en plus d'avoir fourni des modèles cohérents qui ont servi de base à l'explicitation de nombreux aspects de la cognition humaine, y compris la résolution de problème, ont également permis de simuler certains processus mentaux et tester des hypothèses sur le fonctionnement intellectuel de l'être humain.

Mais ces modèles sont du même coup dépendant de l'architecture des ordinateurs qui, pour l'essentiel sont encore du type Von Neumann. Ils fonctionnent sur la base d'un enchaînement de traitements en série : les programmes informatiques consistent alors en une série d'instructions que l'ordinateur exécute très rapidement les unes après les autres.

Les recherches en neurosciences ne semblent cependant pas confirmer ce modèle par rapport aux connaissances disponibles sur le cerveau humain.

Les neurosciences sont constituées par un ensemble de disciplines scientifiques qui se consacrent à l'étude du système nerveux, tant du point de vue anatomique que fonctionnel : neurologie, neurophysiologie, neurochimie, neurobiologie, neuropsychiatrie, neuro-endocrinologie, neuroembryologie...Chacune de ces parties des neurosciences cherche à répondre à une question spécifique liée à l'anatomie et au fonctionnement du cerveau. Par exemple, la neurobiologie cherche à répondre à la question centrale de la psychologie en essayant d'identifier les constituants du cerveau qui provoquent tel ou tel comportement s'ils sont excités électriquement. Il s'agit ici de faire une sorte de carte de localisation cérébrale et une théorie électrochimique du comportement.

Une partie des neurosciences actuelles se préoccupe spécialement de comprendre la nature des relations entre le cerveau (brain) et l'esprit (mind), entre structures neuronales et activités mentales. En d'autres termes, l'esprit peut-il se confondre avec le cerveau ? Le fonctionnement neuronal peut-il rendre compte des activités

cognitives ? Ou encore, l'apprentissage peut-il s'expliquer par l'activation de certains réseaux neuronaux ?

Ces préoccupations ne sont pas nouvelles mais la recherche, les modes exploratoires, les données expérimentales, les observations systématiques de certaines pathologies, ouvrent des voies nouvelles dans la compréhension de phénomènes « classiques » tels que la perception, les émotions, l'apprentissage, la mémoire, le langage...

A ce propos deux résultats importants sont mis en évidence :

- les ordinateurs sont plus rapides que le cerveau humain : exemple l'ordinateur Gray-2 Super computer des années 1990 peut effectuer 4,5 billions d'opérations par seconde
- le cerveau humain est plus puissant que l'ordinateur le plus sophistiqué dans beaucoup de tâches, et peut travailler sous plusieurs contraintes, contrairement aux programmes informatiques.

Or, même s'il y a plusieurs processus cognitifs qui se font en série, dans la plupart des tâches naturelles de cognition, l'être humain est obligé de prendre en charge plusieurs contraintes tout en explorant en même temps plusieurs possibilités. Sa démarche cognitive n'est pas linéaire, mais connexionniste.

En opposition aux théories du traitement de l'information, les théories connexionnistes estiment que le monde que connaît l'individu est un monde construit par lui, par l'intermédiaire de ses expériences. Ces expériences provoquent « l'émergence d'états globaux parmi des ensembles neuronaux résonnants » (Varela, 1989, p. 76), et le sens serait lié à des états particuliers de ces réseaux neuronaux (relations particulières entre neurones), états qui se retrouveraient identiques à chaque fois que l'individu est confronté au même ensemble de stimuli.

En neurophysiologie, un réseau neuronal est un système extrêmement dense de neurones interconnectés entre eux par des synapses, et susceptibles d'être excités pour remplir certaines fonctions. Un neurone peut être connecté avec 5000 autres neurones (Bonnet, 1993 p.647).

Dans le contexte des sciences cognitives (informatique, intelligence artificielle, psychologie cognitive...), un réseau neuronal artificiel est un modèle d'automate formel conçu sur l'analogie des réseaux neuronaux du système nerveux, pour « modéliser » le fonctionnement du cerveau humain, et notamment des processus d'apprentissage.

Un « réseau neuronal formel » a été ainsi imaginé en 1943 par « le logicien-neuropsychiatre-philosophe-cybernéticien Warren S. McCulloch et le mathématicien Walter Pitts. Ce modèle connu sous le nom de « neurone de McCulloch et Pitts », « servira de référence pendant plus de quarante ans à bien des chercheurs en sciences cognitives » (Tête et Pelissier, 1995).

En 1948, dans un article célèbre, le psychologue Donald Hebb, suggéra pour la première fois « que l'apprentissage pouvait être basé sur les modifications du cerveau émanant du degré d'activité corrélé entre les neurones (Varela, 1989, p. 76).

A la suite Rosenblatt crée en 1958 le « Perceptron », machine construite sur le modèle des réseaux neuronaux, et conçue pour percevoir et reconnaître des formes. Initialement ces modèles artificiels utilisèrent, pour remplacer les neurones, des « tubes à vide » fonctionnant sur un modèle binaire (0, 1). Par la suite, ces tubes furent remplacés par les transistors, puis les puces électroniques.

Aujourd'hui, les modèles de McCulloch et Hebb sont développés en intelligence artificielle par le courant connexionniste à partir de « réseaux neuronaux » qui ont la particularité de sécréter de l'ordre et s'ils sont correctement conçus, et d'être dotés de la capacité d'apprendre.

Selon le point de vue connexionniste, la signification émerge ainsi progressivement d'un état particulier du réseau (les poids synaptiques des différentes connexions, entre neurones). Ce processus est à mettre en relation avec le concept d'énaction introduit par le biologiste Francisco Valera, concernant le fonctionnement du cerveau humain.

L'énaction est selon Valera, la capacité du cerveau humain à faire émerger du sens à partir de stimuli multiples non organisés. Valera appelle énaction, la caractéristique « *la plus importante de notre cognition vivante, la faculté de poser les questions pertinentes qui surgissent à chaque moment de notre vie. Elles ne sont pas prédéfinies mais énectées, on les fait émerger sur un arrière plan.* » (p.91).

Pour Valera (1989), « *l'intelligence la plus profonde et la plus fondamentale n'est pas l'intelligence de l'expert mais l'intelligence du bébé qui acquiert le langage à partir d'un flot quotidien de bribes dispersées ou encore qui reconstitue des objets signifiants à partir d'un flux informe de lumière.* » (p.56).

Cette faculté qu'a le cerveau humain de faire émerger des significations, de créer du sens, à partir d'un ensemble chaotique de stimuli, c'est l'énaction.

Le connexionisme fait bien entendu disparaître le niveau symbolique, le concept de représentation, le traitement séquentiel des données, et postule que le monde que nous connaissons n'est pas prédéfini, mais un monde que nous créons par l'intermédiaire de nos connaissances. Le monde tel que nous le percevons dépend de celui qui le perçoit. Alors que dans le modèle du traitement de l'information l'esprit humain fonctionne sur la base d'une computation symbolique, le connexionisme quant à lui repose sur une émergence sub-symbolique.

Valera admet cependant que « les deux approches sont complémentaires, l'une ascendante, l'autre descendante. » page 80. De son point de vue «... *la relation la plus intéressante entre l'émergence subsymbolique et la computation symbolique est une relation d'inclusion.* » (p. 80)

Le concept d'énaction permet de donner un nom à une activité de l'esprit que l'être humain a souvent expérimentée : la capacité de faire émerger du sens à partir d'un ensemble de stimuli qui n'en contient à priori aucun, la capacité à poser les questions pertinentes, le fameux « bon sens » dont les ordinateurs sont, pour le moment, dépourvus. Pour Valera, si l'homme est un ordinateur, il est évident que ce n'est pas un ordinateur de type Von Neumann.

L'énaction est un concept central du connexionisme, théorie qui affirme que la perception ne fonctionne pas uniquement à partir de symboles, mais également à partir du traitement distribué de l'information, effectué par les réseaux neuronaux qui se sont constitués par l'intermédiaire de l'expérience de l'individu.

C'est compte tenu des caractéristiques du cerveau humain et de ses performances qu'un groupe de chercheurs cognitivistes (McClelland, Rumelhart et Hinton, 1986) ont proposé de remplacer le modèle computo-symbolique par des modèles connexionnistes plus proches du modèle du cerveau humain. Parmi eux, le « Parallel Distributed Processing (PDP) » ou Modèle du Traitement Parallèle.

Dans le PDP, ce ne sont pas les unités d'information qui sont stockées dans la mémoire à long terme, mais les lignes de connexion entre les unités simples de traitement.

Les connaissances sont ici logées sur les lignes de connexion qui relient des unités de traitement. Les connaissances relatives à un domaine spécifique ne sont pas logées dans une unité particulière, mais distribuée dans le réseau à travers un très grand nombre d'unités simples de traitement. On parle alors de représentation distribuée. Les unités de traitement ressemblent beaucoup aux neurones ou à un assemblage de neurones et les unités de traitement à des synapses.

Mais les concepteurs du PDP ne considèrent pas ce modèle comme une alternative aux modèles basés sur les hiérarchies sémantiques ou les représentation par réseaux. Selon eux, il s'agit plutôt d'une voie pour comprendre davantage comment les entités abstraites sont conservées et comment elles interagissent les une sur les autres. De plus des recherches s'appuyant sur le PDP dans des domaines variés, (Rumelhart, McClelland et le PDP Groupe, 1986 ; McClelland, 1988), montrent que les modèles connexionnistes sont sans doute appelés à influencer davantage les recherches en psychologie cognitive. Ils ont l'avantage de leur pouvoir attractif, aussi bien pour les spécialistes de l'informatique que pour les psychologues cognitivistes. De nos jours de plus en plus d'ordinateurs fonctionnent avec plusieurs processeurs capables de fonctionner indépendamment ou en même temps.

Comme le montre cette revue de la littérature, le concept de mémoire est bien au cœur de la cognition humaine. Les investigations parties du modèle computationniste ont à leur tour engendré un autre type d'ordinateur capable de se rapprocher du fonctionnement du cerveau et de la cognition humains.

Parmi les processus pris en charge par les modèles cognitivistes, la résolution de problème a été l'objet d'une attention particulière.

II.2.4.2.2.5. Problème et résolution de problème.

Du point de vue psychologique, « il y a problème chaque fois qu'un but ayant été fixé, on n'a pas encore identifié les moyens de l'atteindre » (Gagné, 1985, p. 138) ou encore « il y a problème lorsqu'un obstacle sépare notre état actuel d'un autre désiré. » (Glover et al., 1990, page 49). Ces deux définitions mettent en évidence deux pôles fondamentaux du problème : la situation de départ et le but à atteindre.

Il est remarquable déjà de constater que l'importance de la situation de départ dans les conceptions des enseignants face à la résolution de problème. C'était un des résultats de notre recherche exploratoire.

Résoudre un problème revient donc à trouver les moyens et leurs combinaisons efficaces pour aller de la situation de départ au but à atteindre.

Newell et Simon (1972) affinent cette vision bipolaire et développent une vision spatiale par le biais du concept d'espace-problème. L'espace-problème comprend les dimensions suivantes :

Tableau 23 : L'espace-problème de Newell et Simon (1972)

1. un ensemble d'éléments, chacun représentant une unité de connaissance à propos de la tâche à faire dans le cadre du problème posé ;
2. un ensemble d'opérateurs qui sont des procédures pour combiner les unités d'information et produire de nouvelles connaissances à partir des connaissances antérieures ;
3. un état initial des connaissances à propos du problème spécifique ;
4. le problème lui-même décrivant le but à atteindre par l'application de procédures ;
5. l'ensemble des connaissances du sujet à propos du problème spécifique, mais aussi à propos de méthodes de résolution, de validation d'une démarche, de l'évaluation d'une solution obtenue.

(Glover et al. , 1990, p. 158).

L'espace-problème inclut donc le processus de résolution, les procédures et les contraintes. On peut cependant noter d'ores et déjà le manque de sensibilité par rapport à la dimension affective et /ou conative : résoudre un problème, c'est certainement d'abord reconnaître qu'il y a problème et s'engager de manière affective, cognitive tout en évaluant la somme d'efforts à fournir. Ces trois niveaux d'engagement sont naturellement interactifs au lieu d'être disjoints.

Les approches de Newell et Simon (1972), Gagné (1985) Glover et al. (1990) induisent également une autre typologie de problème.

C'est ainsi qu'en prenant comme critère le but recherché, on aboutit à une typologie dichotomique permettant de distinguer les problèmes à but défini (well defined problems) et les problèmes à but indéfini (ill defined problems). Du point de vue des connaissances en jeu (le contenu sur lequel portent les questions posées), on peut définir des problèmes à contenu général (exemple: le puzzle, Tour de Hanoï), et des problèmes à contenus disciplinaires spécifiques (physique et chimie, mathématiques), (Chi et al. 1993).

Greeno(1978), cité par Richard(1990) propose une typologie avec comme critère le résultat attendu associé au type de traitement de l'information initiale, à la tâche à réaliser. Il distingue ainsi :

- des problèmes d'induction de structures
- des problèmes de transformation
- des problèmes d'arrangement

Dans les problèmes d'induction de structures, la tâche la plus importante consiste à identifier la structure de relations entre un ensemble d'éléments. Les réponses sont proposées ou à produire.

Dans les problèmes de transformation, la tâche consiste à produire un enchaînement d'opérateurs permettant d'aller de la situation de départ au but recherché. Le problème de la Tour de Hanoï constitue un exemple typique.

Les problèmes d'arrangement posent comme tâche de trouver un ou plusieurs arrangements à partir d'un ensemble d'éléments et sur la base de critères fixés. La littérature sur la psychologie cognitive fournit à ce propos de nombreux exemples d'arrangements sous forme de cryptogrammes et d'anagrammes.

Certains problèmes sont en réalité des combinaisons de ces différents types.

Exemple : le jeu d'échec est un problème de "transformation/arrangement".

La résolution de problème dans ses aspects généraux, a été l'objet de nombreuses recherches. Une des questions qui a d'abord mobilisé les chercheurs était d'identifier des stratégies de résolution applicables dans n'importe quel contexte.

Les travaux de Newell et Simon (Human Problem Solving, 1972) ont constitué une étape marquante de la recherche sur la résolution de problème, dans le contexte de la psychologie cognitive. Ces deux chercheurs ont développé pendant une quinzaine

d'années un programme de recherche dont les résultats ont été publiés en 1972, jetant les bases de l'intelligence artificielle (IA).

L'histoire de l'intelligence artificielle a été en effet fortement marquée par Alan Newell et Herbert Simon, deux chercheurs américains de l'Université Carnegie-Mellon. Gardner (1992) rend compte de la genèse de leur contribution sur l'intelligence artificielle dans le passage suivant :

« Pendant l'été 1956, une dizaine de jeunes universitaires spécialisés en mathématiques et en logique se sont réunis sur le campus de Dartmouth College à Hanover (New Hampshire). Leur but : une discussion sur les possibilités de réaliser des programmes informatiques qui puissent « se comporter » ou « penser » intelligemment. Comme ils l'ont annoncé dans leur projet remis à la Fondation Rockefeller: « L'étude proposée s'appuiera sur l'hypothèse que chaque aspect de l'apprentissage ou toute autre caractéristique de l'intelligence artificielle peuvent en principe être décrits d'une façon suffisamment précise pour qu'une machine puisse les simuler. » (p. 163).

Parmi eux se trouvaient Marvin Minsky, de Harvard, Mac Carthy (auteur présumé du terme intelligence artificielle), Alan Newell, et Herbert Simon (futur Prix Nobel d'économie) tous quatre considérés comme les pères fondateurs de l'intelligence artificielle.

Travaillant depuis 1952 sur la réalisation de programmes informatiques de haut niveau, Newell et Simon présentent en 1956, à Dartmouth, un programme capable de démontrer un théorème de logique propositionnelle. « Logic Theorist », le premier programme d'intelligence artificielle (IA) digne de ce nom apporte la preuve que l'IA peut simuler des modes de résolution de problèmes identiques à ceux des humains.

Simon, qui a soutenu sa thèse en 1943 sur les processus de décision dans les organisations est un spécialiste du « raisonnement humain en situation. »

Inspirés par la cybernétique de Wiener (1961), et persuadé qu'une machine peut simuler le comportement humain. Newell et Simon s'appuient sur l'observation des modes de résolution utilisés par des hommes réels face à une tâche précise, pour créer les protocoles de résolution de problème du programme (les premiers de l'IA) : formation d'un but, mesure de l'écart, planification, optimisation...

Ils utilisent également des formalismes logico-mathématiques, comme par exemple les syllogismes du type [si a implique b est vrai], [si b implique C est vrai], [alors a implique C est vrai]. Ils résolvent aussi quelques problèmes techniques de structuration de l'information soutenue dans les programmes (couches, structures, listes...). Toutes ces approches auront par la suite, une importance capitale pour l'IA et la psychologie cognitive.

Tandis que Newell poursuit ses travaux en IA, Simon poursuit ses observations du comportement humain en situation de décision. Il sait que les individus ne sont pas aussi «rationnels» qu'on l'a cru jusqu'à présent : leurs processus de décision s'apparentent plus à des heuristiques adaptées aux contraintes de la situation qu'à des algorithmes. Les algorithmes sont des stratégies qui produisent à coup sûr des solutions (par exemple les règles de multiplication), tandis que les heuristiques sont des stratégies plus incertaines, dont on se sert quand le problème est mal défini ou quand les règles ne sont pas connues.

Ensemble, Newell et Simon rédigent en 1972, une œuvre majeure dont l'influence sur les programmes ultérieurs de recherche fut décisive : Human Problem Solving.

Newell et Simon y présentent un programme très ambitieux, le GPS (General Problem Solver). Selon Richard J-F (1990) : « *C'est un modèle général de résolution de problème basé sur une heuristique puissante de construction de sous-buts. Cette méthode consiste à faire une liste des différences entre la situation initiale et la situation-but, à ordonner ces différences, à rechercher un opérateur dont l'effet permet de faire disparaître la différence .* » (p. 260).

Le GPS est capable de résoudre n'importe quel problème de logique ou de mathématique : jeu d'échecs, théorèmes, « Tour de Hanoï », "missionnaires et cannibales », ou encore des cryptogrammes comme celui rapporté par Glover et al. (1990, p. 154) :

« *Pouvez-vous résoudre l'addition ci-dessous, sachant que $D = 5$? Il y a dix lettres en tout et chaque lettre représente un chiffre. »*

D O N A L D + G E R A L D
= R O B E R T avec $D = 5$

Le GPS, selon les auteurs, permettrait de modéliser la pensée humaine dans la résolution de problème, et l'ordinateur, correctement programmé simulerait ainsi le traitement humain de l'information.

Si par exemple, vous tentez de résoudre l'addition « Donald + Gerald », toutes les opérations mentales que vous conduirez jusqu'à la solution correcte (y compris les hypothèses, les échecs, les impasses, les fixations, les retours en arrière) peuvent être réalisées par un ordinateur.

Une des critiques adressées à Newell et Simon a été que l'ordinateur ne faisait finalement que ce pour quoi il était programmé, et ne résolvait en fait que des problèmes logico-mathématiques.

Cependant le GSP resta longtemps une grande source d'inspiration pour de nombreux chercheurs. Par leur manière d'appréhender le problème de symbolisation informatique, Newell et Simon jetèrent les bases de la différenciation des informations en base de données et règles de production (des connaissances et des opérations sur les connaissances), ce qui allait ouvrir la voie aux systèmes experts.

La méthode utilisée dans les recherches sur le GPS consistait à demander à des sujets généralement adultes de verbaliser leur démarche pendant qu'ils tentaient de résoudre des problèmes portant sur des contenus généraux non disciplinaires. Ces problèmes reposaient sur des situations artificielles, qui faisaient appel à beaucoup de connaissances générales et peu de connaissances spécifiques. C'est ainsi que selon Glover et al. (1990), le GPS a permis d'identifier trois grandes stratégies générales de résolution de problème :

- le « Hill Climbing » que nous traduisons par « gravir la colline », ou démarche ascendante : cette stratégie repose sur l'hypothèse que tout ce qui fait avancer, c'est-à-dire qui rapproche du but est « bon à prendre. » Pour cela on la qualifie de stratégie de proximité.

Cependant le « Hill Climbing » s'est révélé inefficace pour des problèmes nécessitant d'abord une distanciation pour accéder à la solution.

- le « Means-Ends Analysis » ou stratégie des étapes intermédiaires. C'est également une stratégie de proximité. Mais elle s'appuie sur la définition d'étapes intermédiaires entre la situation de départ et le but à atteindre.

- la stratégie du fractionnement consiste à subdiviser un problème en sous-problèmes. La résolution des sous-problèmes devait correspondre à la solution du problème initial.

Ces stratégies générales qui constituent le Général Problem Solving (GPS), se sont révélées efficaces dans les contextes où elles ont été mises en œuvre : problèmes artificiels nécessitant peu de connaissances spécifiques.

Selon Glover et al. (1990), les faiblesses du (GPS) se révèlent face aux problèmes réels de la vie, et pour des situations qui nécessitent des connaissances spécifiques. Néanmoins les stratégies générales peuvent servir de base à des stratégies plus spécifiques.

A la suite des travaux de Newell et Simon, de nombreuses tentatives pour mettre au point des heuristiques de résolution de problème ont été élaborées. Glover et al. (1990), ont fait le bilan de plusieurs programmes de développement d'heuristiques de résolution de problème. Mais à l'image du General Problem Solving (GPS), tous ces programmes (de Bono, 1973 : « The CoRT Thinking Materials », (Covington, Crutchfield, Davies & Olton, 1974 ; The Productive Thinking Program »), (Feuerstein, Rand, Hoffman and Miller, 1980 : Feuerstein's Instrumental Enrichment), (Brandsford et Stein, 1984 : The IDEAL problem Solver), n'ont pas donné de résultats concluants.

Cependant le GPS a été à la base du développement de systèmes experts en intelligence artificielle (IA).

Un système expert est un programme informatique qui se propose de simuler le comportement d'un expert dans un domaine de connaissance particulier : médecine, comptabilité, recherche pétrolière... Un système-expert est constitué de trois éléments : une base de données, des règles de production et un moteur d'inférences. La base de données doit être organisée selon les règles de production.

Delahaye J-P (1987), présente ainsi un système-expert :

« Au début des années soixante-dix, une nouvelle sorte de programmes informatiques a été élaborée : les systèmes-experts.

De manière simplifiée, on peut les définir en disant que ce sont des logiciels qui prétendent pouvoir se substituer aux experts d'un domaine particulier (médical,

financier, géologique, etc.), et dont la structure fondamentale comporte les éléments suivants :

1. Une base de connaissances, le plus souvent divisée en assertion (appelées faits) et en règles (appelées aussi règles de production) qui, par exemple, sont de la forme :

SI (condition) / Alors (conclusion)

Cette base de connaissances est codifiée dans un langage de représentation des connaissances qui, bien sûr est symbolique, mais qui, malgré tout, peut être proche du langage naturel.

2. Un ensemble d'algorithmes de manipulation de la base de connaissances appelé moteur d'inférences, qui rend le système apte à « raisonner » à partir de faits et règles, pour inférer de nouveaux faits.

3. Un certain nombre d'interfaces, plus ou moins sophistiqués, permettant aux experts (en général assistés d'informaticiens spécialisés) de constituer, de modifier, de compléter, les bases de connaissances et aux utilisateurs de les interroger. Le plus souvent la possibilité d'obtenir l'explication des raisonnements du moteur d'inférence est prévue. » (p. 3-4).

« Après une période où chaque système-expert possédait son propre langage de représentation des connaissances, son propre système d'interfaces, sont apparus des systèmes-experts généraux (appelés aussi : systèmes-experts nus / systèmes essentiels / Schell) comportant tout ce qui définit un système expert sauf la base de connaissance, c'est-à-dire sauf l'expertise particulière d'un domaine donné.

Ces systèmes généraux permettent de développer rapidement de nouveaux systèmes-experts, puisque pour cela il suffit de créer de nouvelles bases de connaissances (opération appelée instanciation du système essentiel). » (pp. 3-4).

Le fonctionnement d'un système expert génère de nouvelles informations. La machine devient de plus en plus efficace, l'expertise s'élargit jusqu'au moment où les règles fournies au départ entrent en conflit de manière trop sérieuse avec des inférences non prévues effectuées par le système, c'est-à-dire jusqu'à ce que celui-ci devienne « fou » ou refuse de fonctionner.

La psychologie cognitive a donc permis d'explorer à fond le processus de résolution de problème dans le cadre général. Le GPS, malgré ses limites a permis de rationaliser l'analyse de ce processus cognitif complexe. Mieux, le manque de consistance des

résultats des recherches portant sur les stratégies générales de résolution de problème peut être interprété comme une indication sur le rôle des connaissances spécifiques. Le cadre théorique restreint donnera l'occasion de faire le point sur les recherches sur la résolution de problème dans des contextes disciplinaires comme la physique et la chimie.

Synthèse sur le cognitivisme

Le cognitivisme se révèle ainsi comme un cadre théorique riche de possibilités d'explicitier les bases des comportements cognitifs. Son impact sur l'éducation s'élargit de plus en plus malgré la résistance implicite des bases behavioristes traditionnelles.

Cependant, malgré ou à cause de cette vitalité, le cognitivisme est traversé par un débat continu, parfois passionné, mais surtout destiné à affiner les concepts et les méthodes, pour une plus grande efficacité dans la compréhension de la cognition humaine. On peut considérer, pour reprendre l'analyse de Kuhn (1983) sur la structure des révolutions scientifiques, que le paradigme cognitiviste est encore dans sa phase de consolidation. Il est actuellement l'objet de nombreux débats.

Le paragraphe suivant sera consacré à une brève revue des termes du débat actuel autour du cognitivisme.

II.2.4.3. Débats actuels sur le cadre cognitiviste

Les résultats de la recherche exploratoire avaient mis en évidence la nécessité d'élaborer un cadre théorique plus large et plus approfondi pour fonder les bases de notre recherche axée sur la résolution de problème en physique et chimie. La revue de la littérature nous a permis d'explicitier les concepts en jeu dans un processus d'abord psychologique, correspondant à un comportement spécifique.

Le behaviorisme, le courant associationniste le plus élaboré, parce qu'ayant défini des méthodes explicites qui lui sont propres, a longtemps marqué et continue encore d'influencer le champ de l'éducation et de la formation.

Les limites théoriques du behaviorisme et son infirmation par des données empiriques, notamment les données linguistiques ont été cependant sans appel. Le behaviorisme a eu cependant des succès réels dans le champ éducatif. Il a inspiré de nombreux

programmes éducatifs et engendré des modèles d'apprentissage hélas marqués par les principes sous-jacents du conditionnement humain.

Le cognitivisme, à la suite du déclin programmé du béhaviorisme, s'est progressivement imposé, du moins au niveau théorique, et dans le discours des praticiens de l'éducation et de la formation.

Le constructivisme, chronologiquement, le premier courant cognitiviste, principalement les contributions de Piaget et de Vygotski, ont apporté des éclairages décisifs sur le développement cognitif, malgré leurs itinéraires croisés. En effet, alors que le développement intellectuel chez Piaget s'appuie sur des stades qui déterminent l'apprentissage dans une dynamique qui va de l'intra-psychique vers l'inter-psychique, Vygotski postule le mouvement inverse. Même si le psychologue russe concède l'existence d'étapes, c'est pour relativiser leur caractère décisif en s'intéressant surtout à la zone proche de développement (ZPD).

La psychologie cognitive en partant de bases théoriques sur la structure des connaissances et sur les processus de traitement de l'information a fourni des concepts et des démarches permettant de mieux analyser et de comprendre les processus en jeu dans le système enseignement/apprentissage.

Si l'analogie initiale de la cognition humaine avec le fonctionnement de l'ordinateur de Von Newman s'est révélée très féconde en permettant l'explicitation de nombreux concepts et processus cognitifs (connaissances, perception, attention, résolution de problème) et en stimulant de nombreuses recherches, les neurosciences ont cependant mis en évidence les limites de cette analogie. La cognition humaine s'est révélée plus complexe que le fonctionnement de l'ordinateur.

Les théories connexionnistes devaient donc naturellement proposer une solution à l'impasse, créée par un conflit entre un modèle attractif parce que doté d'un grand pouvoir d'interprétation, et des données fournies par des expériences très minutieuses des neurosciences. La conséquence inattendue c'est qu'il y a eu une sorte de « renvoi de l'ascenseur », puisque de nouveaux ordinateurs de type « connexionniste » ont été construits permettant de substituer le traitement computo-symbolique séquentiel à un traitement distribué dans le cadre de réseaux.

La résolution de problème qui nous intéresse dans le cadre de cette recherche se fait dans un système d'enseignement-apprentissage. Le constructivisme ou les constructivismes, nous permettent de clarifier le processus d'apprentissage et, simultanément le processus d'enseignement qui lui est inséparable.

Le modèle du traitement de l'information permet de nous éclairer de manière fine par rapport au processus de résolution de problème.

Mais l'activité de résolution de problème n'implique pas uniquement des processus cognitifs. De manière générale il est difficile d'imaginer une activité purement cognitive. C'est là un des débats actuels sur le constructivisme et le modèle du traitement de l'information.

Pour donner son avis sur le courant dominant de la psychologie cognitive, Gillepsie (1992) part de la grille de lecture des théories scientifiques de Pepper (1942). Ce dernier identifie en effet quatre visions du monde :

- le formalisme qui s'appuie sur le respect des règles d'usage et des symboles conventionnels
- l'organicisme qui privilégie l'image de l'organisme en évolution,
- le mécanicisme (ou mécanisme) qui s'appuie sur la relation de cause à effet
- le contextualisme pour qui tout est inscrit dans un processus de changement avec trois étapes essentielles: le début, le milieu, la fin.

C'est ainsi que Gillepsie (1992) dans un ouvrage intitulé "The mind' We", s'insurge contre la vision mécaniste qui, selon elle détermine encore la psychologie cognitive, ce qui pourrait contribuer à une résurgence du béhaviorisme. Selon Gillepsie, les interactions sociales ne sont pas suffisamment prises en charge : « le mécanisme peut être une vision féconde du monde, mais ignore souvent les nouvelles perspectives et musèle les voix discordantes comme si la diversité était incompatible avec la rationalité. » p. xv.

Gillepsie (1992) préconise le recentrage de la psychologie cognitive sur le contextualisme : « Le contextualisme ouvre la cognition à l'expérience vécue et aux relations avec les autres, à travers le monde. » (p. 25).

Proctor et Capaldi (1992) ont cependant émis de sérieuses réserves sur les critiques de Gillepsie. Selon eux, le mécanisme (ou mécanicisme) ne s'oppose pas au contextualisme. Ce sont plutôt des visions qui doivent être complémentaires dans le cadre de la psychologie cognitive.

Shanon (1992) qui a également procédé à une lecture critique de l'ouvrage de Gillepsie, s'est montré plus sévère. Le caractère mécaniste dénoncé est lié à l'objet même de la psychologie cognitive qui propose des modèles à propos des processus cognitifs, conçus comme des séquences d'opérations de traitement appliquées sur les représentations symboliques des structures mentales. Bien que favorable au contexte, Shanon réfute l'opposition entre le contextualisme et le mécanisme.

De son côté, O'Loughlin (1992) critique le constructivisme piagétien. Selon lui, le constructivisme de Piaget ignore la subjectivité de l'apprenant et la nature historique et sociale des connaissances. Ces éléments interviennent dans les processus cognitifs dans lesquels l'apprenant est engagé, y compris la résolution de problème.

Les deux critiques présentées se recoupent. Le contexte tel que l'envisage Gillepsie (1992), ne diffère pas des aspects historiques et sociaux soulignés par O'Loughlin (1992). Selon O'Loughlin, le constructivisme de Piaget est inapte à prendre en charge les données essentielles de la culture, du pouvoir et du discours au sein de la classe.

Ces différentes critiques sont cependant à relativiser.

En effet, la place du contexte a été bien abordée dans le cadre de la psychologie cognitive, particulièrement dans le domaine des connaissances. Les connaissances contextuelles ou conditionnelles (Anderson, 1983) indiquent bien que la cognition ne peut être réduite à une mécanique. L'utilisation des connaissances dans la réalisation d'une tâche se fait toujours en aval d'un processus de prises de décision en fonction du contexte.

Mieux le constructivisme de Piaget pose de manière claire la construction des connaissances : elles ne sont pas transmises de manière mécanique du maître vers l'élève; elles sont construites par l'individu à partir d'actions sur des objets. Ce sont ces actions qui sont intériorisées en schèmes qui vont s'organiser dans le cerveau en structures opératoires. L'ouverture au milieu se fait ici par le biais de l'assimilation ou de l'accommodation. Il est vrai qu'un éducateur centré sur une discipline donnée peut rester sur sa fin devant l'approche de Piaget. Mais ce dernier s'intéressait au développement général de la pensée, et non à une discipline.

Quant à Vygotski, il place les interactions sociales au cœur de son constructivisme. Selon lui, ce sont les interactions avec le contexte qui favorisent le développement

cognitif. L'apprentissage en situation par le biais des interactions détermine le développement de l'enfant. Les critiques du constructivisme de Piaget semblent révéler chez certains auteurs une perception insuffisante des objectifs du psychologue suisse ou une découverte trop récente de l'œuvre de Vygotski.

Toujours est-il que l'ensemble de ces critiques a fini par induire plusieurs approches psychologiques qui se veulent un approfondissement de Piaget et/ou de Vygotski.

C'est dans ce contexte que s'est développé le courant du socio-constructivisme.

Perret-Clermont (1979), Doise et Mugny (1981) étudient le rôle des interactions sociales entre pairs dans le développement de l'intelligence selon une perspective piagétienne. Ces auteurs reconnaissent un rôle important au conflit cognitif, mais dans une perspective sociale, ils avancent le concept de conflit socio-cognitif : les confrontations entre individus sont à la source du développement cognitif. Le modèle mis au point est un modèle en spirales avec une succession de phases alternées : confrontations interindividuelles et construction de schèmes cognitifs, nouvelles compétences acquises et activité autonome du sujet permettant de nouvelles constructions qui seront à leur tour confrontées à la pratique.

Plus récemment encore, Perret-Clermont (2001) envisage un niveau plus élevé du socio-constructivisme : une psychologie sociale de la construction d'un espace de pensée. Toute entreprise de cognition, (dont les situations pédagogiques) se déroulerait dans un contexte comprenant des rôles interdépendants, des procédures admises, des modes de régulation, des normes de pensée. La situation pédagogique, selon Perret-Clermont constitue le cadre et le contexte « le cadre du cadre. » Le tout se déroule dans une enveloppe constituée par le champ socio-culturel avec sa division du travail, une répartition des biens, des langues et des cultures.

Perret-Clermont (2001) résume le concept d'espace de pensée en ses termes :

« ce terme n'évoque plus les limites, mais la surface, les contenus multiples, les champs sémantiques, les éléments de savoir, etc. Il est à la fois interne et externe au cadre et au contexte. Introduire un cadre dans l'espace permet une concentration du regard, de l'attention. C'est un cadre pour mieux voir. Le cadre qui fait la frontière entre l'espace thérapeutique et le

monde, ou l'espace didactique et la réalité sociale externe, permet la distinction. Distinguer l'ici et l'ailleurs, le maintenant de l'avant et l'après, le soi du non soi, l'interne de l'externe. »
(p. 75).

D'autres psychologues néo-constructivistes, à partir de l'approche socio-historique de Vygotski et en s'inspirant de Bruner, développent une psychologie culturelle (Bruner, 1991, 1996). Ce courant psychologique envisage le développement humain à partir des thématiques suivantes :

- le développement humain en contexte: dans cette optique le savoir est un produit culturel. Il est né de l'échange et fait l'objet d'un partage. C'est une interprétation culturelle, historique et sociale. La culture est alors conçue comme un filtre qui permet de donner sens à la réalité par divers moyens : intellectuels (modes d'analyse, technologies) et moyens symboliques (systèmes symboliques);
- les savoirs initiaux : ils font souvent obstacle à l'élaboration des savoirs, obstacles avec lesquels il faut composer. On retrouve ici un des éléments clés du constructivisme épistémologique de Bachelard. Bien qu'on en parle en termes de conflit socio-cognitif, on privilégie les modèles coopératifs et la médiation comme moyen visant la régulation;
- l'attention conjointe: cette disposition (centration et langage partagé) permet aux individus de travailler à atteindre une signification commune. La rencontre des idées facilite cette visée;
- la participation: elle est un élément central car l'individu est vu comme un acteur en quête d'adaptation à la culture. Bien qu'« enculturé » par l'action commune, le dialogue lui permettra d'en construire et d'en réorganiser la signification. On reconnaît donc l'intentionnalité du sujet;
- la métacognition: elle renvoie à la compréhension de sa propre pensée ainsi que celle d'autrui. La réflexivité permet à l'individu d'exercer un contrôle partiel sur son activité cognitive et sur son agir en général;
- Le narratif : dans cette perspective, c'est un moyen pour l'individu de « penser sa propre pensée » (Bruner, 1996). Le narratif est une manière de structurer notre vécu, de le comprendre et de s'en souvenir.

Un autre aspect du débat autour du cognitivisme concerne l'usage du constructivisme en éducation. Ce n'est pas un hasard si le thème du colloque international organisé en septembre 2000 à l'Université de Genève soit intitulé : Constructivismes : usages et perspectives en éducation.

Par rapport à notre recherche, la contribution de Astolfi intitulé « Qui n'est pas constructiviste ? » nous semble bien camper le débat. Astolfi (2001) met ainsi en évidence la généralisation en éducation de la référence au constructivisme, avec des risques que cela ne soit qu'une manière de montrer « qu'on est dans le l'air du temps » ou, comme le dit Astolfi, d'en faire simplement « *des emplois didactiquement corrects* » (Astolfi, 2001, p.113).

Cette référence généralisée conduit, selon Astolfi, à de nombreux amalgames. En effet, les référents au constructivisme sont divers et pas nécessairement convergents. En ne considérant que les trois figures de proue du constructivisme, Piaget, Bachelard, Vygotski, on identifie des discours et des cadres problématiques qui ne se recoupent pas harmonieusement, dans une perspective didactique.

C'est pourquoi, les usages du constructivisme en didactique se font souvent par des oppositions bipolaires variables suivant qu'on est dans les domaines de la psychologie (constructivisme / béhaviorisme), de l'épistémologie (constructivisme / positivisme) ou de la pédagogie (constructivisme / dogmatisme).

Astolfi propose pour une référence au constructivisme, « sans amalgames », de bien distinguer ce que les trois figures de proue ont en commun et ce qui les différencie.

En comparant Piaget et Bachelard, Astolfi constate que ces deux auteurs s'inscrivent dans deux épistémologies nettement distinctes. L'épistémologie de Piaget est selon Astolfi « *une épistémologie logique et structurale, qui cherche à mettre à jour des opérations logico-mathématiques impliquées par l'activité ou que celle-ci requiert, et à dégager des situations les plus diverses des invariants opératoires dans les conduites cognitives.* » (Astolfi, 2001, p. 115).

Toujours, selon Astolfi, cette approche est opposée à celle de Bachelard qui, « *à contrario considère la connaissance générale comme le premier des obstacles à surmonter et appelle à une épistémologie critique et régionale...* » (Astolfi, 2001, p. 115).

En résumé selon Astolfi, Piaget s'intéresse aux opérations logiques impliquées ou requises par l'activité, et donc à la cognition, à lors que Bachelard cible le processus de conquête des concepts scientifiques contre le sens commun, c'est-à-dire à la conceptualisation.

La comparaison de Piaget et Vygotski laisse apparaître du point de vue de Astolfi, deux psychologies opposées : alors que selon Piaget, les apprentissages sont déterminés par l'état de maturation des structures cognitives, Vygotski fait des apprentissages le stimulant du développement cognitif.

Enfin, Astolfi oppose Bachelard et Vygotski du point de vue culturel. Les deux références constructivistes se situeraient sur deux anthropologies distinctes. Les processus d'acculturation chez Bachelard passe par un renoncement aux facilités du sens commun, « *grâce à une ascèse intellectuelle produite par une philosophie du non.* » (Astolfi, 2001, p. 116). Quant à Vygotski, il considère que « *l'acculturation est la fille de médiations portées par des institutions (dont l'école, émanation de la société), la maîtrise du langage étant l'un des vecteurs principaux de cette domestication de l'esprit* » (Astolfi, 2001, p. 116).

Astolfi résume son exploration éclairante de la galaxie constructiviste par un schéma synthétique sous forme de triangle dont chacun des sommets est occupé par l'un des trois référents classiques du constructivisme et qu'il appelle « la trinité didactique ». Nous sommes plutôt tentés de l'appeler « le triangle constructiviste ». Chacun de trois auteurs (Piaget, Bachelard, Vygotski), y joue sa partition.

Dans ce schéma d'Astolfi, Piaget est considéré comme « le réaliste » qui explique les mécanismes de la cognition, dont le « possible évolutif », alors que Bachelard apparaît comme le pôle « pessimiste », par son appel à la « vigilance critique » face au bon sens, considéré comme un obstacle majeur dans l'acquisition des connaissances scientifiques. Quant à Vygotski, c'est le pôle optimiste, par son ambition dynamique symbolisée par sa notion de zone proche de développement.

Cet éclatement de la galaxie constructiviste permet selon nous, de comprendre les couleurs différenciées de ces usages, mais aussi sa richesse en tant que cadre théorique englobant. Il s'agit simplement de veiller à ce que la référence soit consciente de ces différentes facettes, de leurs rôles et de leur pertinence, par rapport aux usages multiples en éducation.

II.2.5. Conclusion sur le cadre théorique général

Ce passage en revue des débats actuels sur les différents courants cognitivistes montre la pertinence et l'actualité de ce cadre théorique. Cette pertinence et cette actualité peuvent être affirmées dans le domaine de l'éducation en général où des processus cognitifs sont développés par des sujets en situation. La résolution de problème en physique et chimie nous semble une des situations privilégiées où ces processus complexes sont impliqués.

Le constructivisme et le modèle du traitement de l'information sont deux composantes essentielles qui ont permis d'éclairer les questions liées à l'apprentissage et à la résolution de problème.

Le modèle du traitement de l'information permet d'opérationnaliser l'analyse des processus cognitifs complexes en rapport avec les connaissances et la mémoire, deux éléments essentiels pour le sujet en situation de résolution de problème. L'analyse des concepts de connaissances et de résolution de problème, au travers de la psychologie cognitive fournit une base importante à la compréhension même du concept de problème.

L'espace-problème de Newell et Simon (1972) constitue un cadre fécond pour l'investigation sur le concept de problème et de résolution de problème. Il restera à compléter l'éclairage théorique par une spécification par rapport au contexte disciplinaire de la physique et de la chimie, au niveau théorique, mais aussi et surtout sur la base des recherches en didactique de la résolution de problème.

Le constructivisme (ou les constructivismes) constitue l'autre facette du cognitivisme que nous avons revisité. L'analyse pertinente faite par Astolfi, et qui a abouti à ce que nous avons proposé d'appeler le triangle constructiviste, nous indique simplement que les trois références principales interfèrent dans le processus de résolution de problème en contexte scolaire. En effet, les composantes psychologiques, épistémologiques et anthropologiques nous semblent indissociables au cours des activités de résolution de problème auxquelles les élèves sont souvent soumis.

Enfin, que ce soit pour le constructivisme ou la psychologie cognitive, les réserves ou les critiques appellent avec force à la prise en compte, dans les approches cognitivistes, du contexte, de la motivation et des interactions sociales (Vygotski 1985 ; Bruner, 1996). Le socio-constructivisme et la psychologie culturelle nous y invitent vivement. Dans la suite de ce travail ces considérations devront être prises en compte, en particulier, dans le cadre théorique restreint, dans le cadre problématique et plus tard dans l'analyse des données de la recherche.

II.3. CADRE THÉORIQUE SPÉCIFIQUE

La présente recherche porte sur les conceptions en résolution de problème en physique et chimie. Elle s'inscrit donc dans le cadre de disciplines d'enseignement et nous référons donc à une didactique, celle de la physique et chimie. Ainsi, pour marquer cet ancrage disciplinaire, le cadre théorique esquissé plus haut doit être contextualisé. C'est le but du cadre théorique spécifique.

II.3.1. Articulations entre les différents concepts théoriques de la recherche :

Mémoire, représentations, connaissances, conceptions et tâches

La description du contenu de la mémoire comme un ensemble d'unités cognitives reliées les unes aux autres, dont l'organisation supérieure est constituée par les schèmes, a des implications didactiques, particulièrement dans le cadre de l'enseignement des sciences.

Ainsi "il est utile de songer au schéma comme à une sorte de théorie générale informelle, privée, inarticulée, concernant la nature des événements, des objets, des situations que nous rencontrons" (Rumelhart, cité par Joshua et Dupin, 1993, p. 101).

Les performances des élèves seraient donc liées à des schémas prototypes que ceux-ci réactivent, en situation de résolution de problème.

Dans cette approche l'apprentissage a une fonction de modification des schèmes des apprenants. L'enseignement aurait alors pour but, de permettre à l'élève, la construction de schémas qui puissent rendre compte de manière rigoureuse des faits scientifiques et des interprétations qui leur sont associées.

Sur cette base, certains chercheurs se sont évertués à trouver, mais en vain, des schèmes prototypes dont l'instanciation rendrait compte de l'ensemble des connaissances scientifiques, passant ainsi d'une "*microgénése des connaissances à une macrogénése des connaissances*"(Joshua et Dupin, 1993, page104).

Le problème de la généralisation inter-domaine des connaissances n'a pas été éclairci par la psychologie cognitive. Mais elle a permis de mettre en évidence un problème de fond : l'appropriation des connaissances scientifiques se heurte aux schèmes acquis par

l'apprenant tels que les décrit Rumelhart (1980), et qui ne correspondent pas aux schèmes scientifiques. Cela a donné naissance à la notion de conception, parfois appelée "conception naïve" ou "misconception".

Dans la littérature, les termes de représentation et de conception sont parfois confondus. Des controverses existent même à leur propos. Selon Astolfi et Develay (1989), "*le concept utilisé en didactique des sciences dont le succès a été le plus spectaculaire au cours des dix dernières années est assurément celui de représentation.*" (p. 31)

Des auteurs comme Giordan (1987) proposent qu'on fasse une distinction nette entre représentation et conception. De nombreuses recherches ont mis en évidence une particularité des conceptions : elles peuvent être opérationnelles dans certains contextes et constituer ailleurs des obstacles à l'apprentissage. Bachelard (1938) avait, bien avant le développement du modèle de traitement de l'information perçu, cette difficulté qui ne l'était pas encore par les professeurs de sciences notamment, dans le cadre de son constructivisme épistémologique. Goffard (1994) cite cette réflexion profonde de Bachelard :

" J'ai toujours été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas que l'on ne comprenne pas. Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'élève arrive en classe avec des connaissances empiriques déjà constituées ; il ne s'agit pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture, de renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne." (Goffard, 1994, p.12).

Ridao (1993) défend l'usage du concept de représentation, en montrant son utilité dans le cadre de la biologie. Mais dans le même article, Ridao (1993) met en évidence le marquage historique et pluridisciplinaire du concept de représentation :

- philosophie (Bachelard, 1938)
- psychologie génétique (Piaget, 1923)
- modèle du traitement de l'information (Newell et Simon, 1972) : représentation des connaissances, représentation du problème
- psychologie sociale : Moscovici, (1961, 1976), Doise (1989): représentations sociales
- didactique du problème : Kuhn (1983) ; Popper (1973) .

Les arguments avancés par Ridao (1993) sont certes pertinents, en particulier l'aptitude du concept de représentation à jouer un rôle de carrefour de plusieurs disciplines.

Le Ny (1989) considère cependant que les représentations sont essentiellement des interprétations. Il les oppose ainsi aux " représentations-types " que Ehrlich (1985) appelle des " structures permanentes ", qui seraient des constructions stables stockées dans la mémoire à long terme. Les représentations-types doivent être réactivées en cas de besoin.

Richard (1990), dans son ouvrage consacré aux activités cognitives finalisées, permet de faire la différence entre représentations et conceptions.

Les représentations constituent véritablement les clés qui permettent à l'individu de décoder quantité de situations, de comprendre le monde et d'y agir. Lorsqu'une situation se présente à l'individu (par exemple s'inscrire à l'université, acheter un nouvel ordinateur, souscrire à une police d'assurance...), celui-ci peut la comparer à une situation déjà connue (vécue) antérieurement et dont les enchaînements caractéristiques sont codés sous forme de schèmes ou de scripts. Donner du sens à la situation, répondre, agir, conceptualiser, consiste alors à activer ces réseaux ou ces schèmes en les particularisant selon les variables situationnelles. Pour Richard (1990), construire une représentation, c'est comprendre :

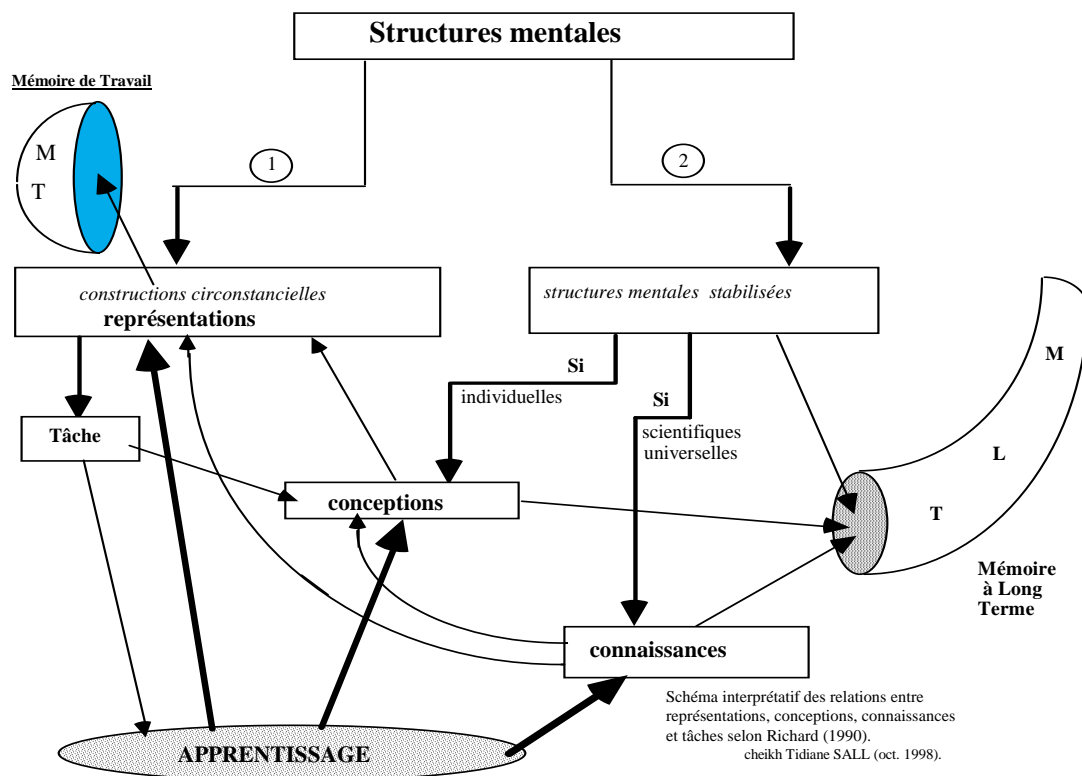
« Nous distinguons plusieurs processus de construction des représentations, qui sont autant de sens du mot « comprendre » :

- 1. la construction d'une représentation par particularisation d'un schéma (remplir les cases vides d'un scénario stéréotypé disponible en mémoire, par des informations venues de la situation);*
- 2. la construction d'une structure conceptuelle (l'individu construit un réseau de significations construites pour la circonstance (inférences);*
- 3. la construction d'un modèle particularisé de situation (un graphique, une forme algébrique, une image...);*
- 4. la construction d'une interprétation par analogie avec une situation connue (recours à des modèles préexistants). (p.97).*

En même temps, Richard (1990) met en évidence l'essentiel des concepts en relation avec la résolution de problème. Ainsi selon lui, les représentations et les conceptions sont toutes des structures mentales. On distingue deux grands types de structures mentales: les structures mentales stabilisées et les structures mentales circonstancielles. Les structures mentales circonstancielles sont celles qui sont construites en vue de la réalisation d'une tâche. Richard désigne celles-ci par le terme de « représentation ». Les représentations sont stockées dans la mémoire de travail.

Les structures mentales stabilisées sont de deux ordres. Les structures mentales individuelles sont appelées « conceptions ». Les structures stabilisées construites de manière scientifique, par des démarches validées, sont appelées « connaissances ». Les conceptions et les connaissances sont stockées dans la mémoire à long terme (MLT). Nous interprétons l'analyse conceptuelle de Richard (1990) des connaissances, des représentations et des conceptions par le schéma suivant.

Schéma 3 : Schéma interprétatif des relations entre représentation, conception, connaissance, tâches, mémoire. (adapté de Richard, 1990)



Ce schéma montre que la réalisation d'une tâche, par exemple dans le cadre d'une résolution de problème, s'appuie essentiellement sur les constructions circonstanciellelles que sont les représentations au sens de Richard. Celles-ci qui sont dans la mémoire de travail sont influencées par les connaissances antérieures dont certaines sont déjà stockées sous formes de schèmes, mais aussi par les conceptions du sujet. Le schéma met en relief le caractère stratégique des conceptions, qui influencent l'apprentissage, mais aussi le processus de construction d'une représentation face à une tâche et la tâche elle-même. Dans la perspective constructiviste, le processus d'enseignement-apprentissage doit s'appuyer sur les conceptions pour faire évoluer celles-ci.

Ainsi, au plan cognitif, le concept de « représentation » revêt deux significations : il désigne le mode de stockage des connaissances dans la mémoire à long terme (MLT), mais aussi les réorganisations circonstanciellelles de ces connaissances en vue de l'exécution d'une tâche spécifique.

Mais ces deux formes de représentations sont en fait liées. En effet, dans certains cas, l'organisation circonstancielle n'est que le fruit d'une réactivation orientée de schèmes déjà structurés dans la mémoire à long terme (MLT, Rummelhart, 1980). Dans le cadre de la résolution de problème, l'expert pourrait être celui qui dispose d'une gamme très variée de schèmes spécifiques ou des modèles de schèmes susceptibles d'être l'objet d'une instanciation pertinente dans une situation donnée.

Les conceptions au sens de Richard (1990) sont alors des organisations personnalisées de ces connaissances qui intègrent des dimensions extracognitives : histoire personnelle, expérience, jugements de valeur, affectivité.

Il y a donc toujours un écart entre les connaissances scientifiques et les conceptions. Les connaissances scientifiques sont de l'ordre de l'idéal puisque le processus d'appropriation d'une connaissance comporte toujours une marque personnelle qui est un des éléments constitutifs des conceptions.

L'apprentissage a donc une première fonction qui est de permettre au sujet d'acquérir ou de construire des connaissances. Cette construction de connaissances comporte naturellement plusieurs paliers. Neves et Anderson (1981) en ont proposé trois : l'encodage, la procéduralisation, et la composition ou organisation. La deuxième

fonction consiste à permettre à l'apprenant de faire évoluer ses conceptions. La troisième fonction est de développer la capacité de construire des représentations efficaces face à une tâche spécifique.

Ces trois fonctions de l'apprentissage ne sont pas indépendantes. Elles sont même en interaction. En effet, l'acquisition des connaissances dans une perspective constructiviste se fait en s'appuyant sur les conceptions des apprenants en vue de les faire évoluer. De même, la capacité de construire des représentations pertinentes se développe déjà dans le processus d'acquisition du nouveau savoir, par la médiation de l'enseignement.

Les conceptions, quant à elles, sont constituées par l'ensemble des significations personnelles associées à un phénomène, à une activité, à un savoir scientifique, à une démarche, à une tâche.

Nous avons déjà justifié notre préférence pour le terme de "conception", à la place de du terme de "représentation", que nous avons estimé trop polysémique. Mais, comme nous venons de le voir, avec Richard (1990), le contenu que nous donnons au terme de conception recouvre ce que les chercheurs en psychologie sociale appellent "représentations sociales" (Moscovici, 1961).

La théorie des représentations sociales nous permet ainsi de préciser ce que nous entendons par conception. Cette théorie, dont Moscovici est le pionnier, a eu pour point de départ la comparaison entre la pensée de l'enfant et la pensée de l'adolescent. L'interprétation des résultats par Moscovici (1976) est que ces pensées sont le siège d'une interaction entre deux systèmes cognitifs : un système opératoire et un système de régulation.

"...nous voyons à l'œuvre deux systèmes cognitifs, l'un qui procède à des associations, inclusions, discriminations, déductions, c'est-à-dire le système opératoire, et l'autre qui contrôle, vérifie, sélectionne à l'aide de règles, logiques ou non; il s'agit d'une sorte de méta-système qui retravaille la matière produite par le premier" (Moscovici, 1976, p. 254).

Selon Abric (1994), la théorie des représentations sociales constitue une remise en cause de la distinction si chère aux behavioristes entre le sujet et l'objet, entre le stimulus et la réponse : un objet n'existe pas en lui-même, il existe pour un individu ou un groupe et par rapport à eux" (p.12).

La théorie des représentations sociales, on le voit, remet en cause le concept de réalité objective. Abric (1994) précise cette idée: "...*toute réalité est représentée, c'est-à-dire appropriée par l'individu ou le groupe, reconstruite dans son système cognitif, intégrée dans son système de valeurs dépendant de son histoire et du contexte social, idéologique qui l'environne*" (p. 12).

Moscovici (1961) identifie les deux processus en jeu dans les représentations sociales: les processus d'objectivation et d'ancrage.

L'objectivation est un processus qui transforme l'abstrait en concret, le relationnel du savoir scientifique en une image de quelque chose (Doise et al. , 1992). Par exemple le concept physique de générateur électrique est identifié à l'objet "pile électrique".

L'objectivation tend donc à dissocier un concept ou un énoncé, d'avec le cadre conceptuel scientifique ou idéologique.

Quant au processus d'ancrage il consiste en l'incorporation de nouveaux éléments de savoir dans un réseau de catégories plus familières. Il semble donc s'opposer à l'objectivation. Alors que celle-ci vise à créer des vérités évidentes pour tous et indépendantes de tout déterminisme social ou psychologique, l'ancrage met l'accent sur l'intervention de tels déterminismes dans la genèse et les transformations des représentations sociales (Doise et al., 1992).

Abric (1994) a fait faire une avancée significative à la théorie des représentations sociales par la modélisation de leur structure reposant sur l'hypothèse dite du "noyau central": "...*l'organisation d'une représentation présente une modalité particulière spécifique: non seulement les éléments de la représentation sont hiérarchisés mais, par ailleurs, toute représentation est organisée autour d'un noyau central, constitué d'un ou de plusieurs éléments qui donnent à la représentation sa signification*" (p. 19).

L'hypothèse du noyau central a par la suite été complétée par la théorie des schèmes périphériques (Flament, 1986). On aboutit alors à un modèle heuristique construit sur une idée simple : "les représentations sociales sont des ensembles sociocognitifs organisés de manière spécifique et régis par des règles de fonctionnement qui leur sont propres" (Doise et al., 1992, p. 8).

Cet éclairage sur les conceptions, par le détour des représentations sociales, ne manquera pas d'avoir des incidences sur la partie méthodologique de notre travail. En

effet, l'objectif d'identifier le noyau central des conceptions et d'hierarchiser les éléments constitutifs fournit déjà des repères, aussi bien pour le processus de construction de l'outil de recueil de données, que pour les modèles de traitement de données.

Mais les conceptions ne portent pas seulement sur des connaissances disciplinaires déclaratives ou procédurales. Elles portent également sur des processus intellectuels et des concepts transversaux. On peut par exemple s'intéresser aux conceptions d'élèves-professeurs à propos de l'enseignement, de l'apprentissage, de l'évaluation, de la recherche, de la démonstration...

Ainsi, dans le cadre de cette recherche, nous nous intéressons aux conceptions des professeurs de physique et chimie de l'enseignement secondaire à propos de la résolution de problème dans le contexte de leur discipline, dans une perspective didactique.

II.3.2. La didactique de la physique et de la chimie.

La didactique de la physique et de la chimie appartient au courant de recherche de la didactique des sciences. Après un bref passage en revue de quelques définitions de référence, nous mettrons l'accent sur les spécificités de la physique et de la chimie, sur la didactique de la résolution de problème et les différents courants de recherche.

La revue des données empiriques et méthodologiques servira ensuite de point de départ à un questionnement servant de transition vers un cadre problématique.

II.3.2.1. La didactique des sciences

La première littérature en didactique que nous avons parcourue indiquait que la fin des années 1980 marquait le passage de la didactique des sciences, de l'étape pré-paradigmatique (Berger, 1979 ; Klopfer, 1983) à l'étape paradigmatique, correspondant à une rupture épistémologique (Kuhn, 1983 ; Bachelard, 1938). La didactique des sciences s'est progressivement constituée en un corps de connaissances de plus en plus cohérent, affinant ses concepts et ses méthodes de recherche (Astolfi et Develay, 1989 ; Gil-Pérez, 1996).

Après avoir précisé le contexte d'émergence et de développement de la didactique des disciplines, nous présenterons quelques définitions qui posent avec clarté l'objet de la didactique.

Toussaint (1996) décrit de manière pertinente le contexte d'émergence de la didactique des disciplines en ces termes : “ *La didactique est née, dans ces années 1970, d'un besoin d'actualiser les sciences de l'éducation et la pédagogie par la nécessaire prise en compte des contenus disciplinaires qui sont véhiculés par l'enseignement. Pédagogie et sciences de l'éducation avaient apporté et construit des notions intéressantes (...), mais dans lesquelles la référence aux contenus de savoir et à leur mode d'élaboration (leur épistémologie) était trop souvent éloignée, voire absente. Il devenait impératif, dans un souci d'efficacité (en direction de la réussite des élèves, bien sûr) des faits d'enseignement, de prendre en compte ces divers savoirs sur lesquels l'enseignement de toute discipline s'appuie* » (p. 60).

De même Astolfi (1989) définit la didactique à partir de ce qu'il appelle “ l'approche didactique: “ *...l'approche didactique travaille d'une part, en amont de la réflexion pédagogique, en prenant en compte les contenus d'enseignement comme objet d'étude. La didactique permet alors le repérage des principaux concepts qui fonctionnent dans la discipline et l'analyse de leurs relations. Elle s'intéresse à leur histoire, leurs rectifications respectives, les modalités de leur introduction dans l'enseignement. Elle examine le fonctionnement social des concepts, les pratiques sociales auxquelles ils renvoient* » (p. 9).

Cette vision de la didactique comme une approche centrée sur une discipline spécifique est encore soulignée par Joshua et Dupin (1993). Selon ces deux auteurs la didactique est « *la science qui étudie, pour un domaine particulier, les phénomènes d'enseignement, les conditions de la transmission de la « culture » propre à une institution (singulièrement ici les institutions scientifiques) et les conditions de l'acquisition de connaissances par un apprenant* »(p. 2).

Ces définitions posent la question des rapports entre didactique et pédagogie, parfois objet de débats passionnés . La Revue Française de Pédagogie (1997, N° 20) a consacré un débat très riche à ce sujet. Plusieurs chercheurs, y compris parmi les précurseurs du courant de la didactique des disciplines, se sont exprimés dans cette publication. Certaines positions adoptées, s'appuyant sur la genèse du courant de la didactique des disciplines, sont apparues moins tranchées (Meirieu, 1997 ; Soëtard, 1997).

Le débat entre pédagogie et didactique n'est pas l'objet de ce travail. Les différentes définitions et prises de position montrent cependant que, dans ce nouveau courant de recherche, la didactique renvoie toujours à une discipline. L'hypothèse de base est ici qu'il existe des difficultés d'appropriation, intrinsèques à un savoir disciplinaire ; il faut alors les diagnostiquer et les analyser avec une grande précision pour faire réussir les élèves. L'intérêt porte à la fois sur les savoirs, les démarches d'élaboration et de validation et les stratégies de son enseignement et de son apprentissage.

Cette rencontre avec la littérature sur la didactique des sciences allait modifier notre perception du processus enseignement/apprentissage de la physique et amplifier notre désir d'approfondir notre réflexion par l'investigation. Une revue bibliographique sommaire nous permettait déjà d'avoir quelques repères théoriques en didactique.

Deux aspects ont retenu notre attention lors de ces premiers contacts avec le champ de la didactique des sciences.

D'abord, le paradigme de l'apprentissage des sciences par la méthode de la redécouverte (Bruner, 1956), qui avait comme arrière-plan psychologique le conditionnement, montrait ses limites.

Ensuite on note que la didactique des sciences convoque plutôt le constructivisme comme cadre théorique. Ce courant psychologique, comme nous l'avons déjà vu dans le cadre théorique général, met l'apprenant au cœur du processus de construction du savoir procédural ou déclaratif. Cette centration n'est pas seulement affective. Si c'était le cas, le constructivisme n'aurait pas été un système original. En effet beaucoup de courants pédagogiques ont antérieurement mis l'accent sur les besoins de l'apprenant. Le constructivisme met d'abord l'accent sur les activités cognitives de construction du savoir. Piaget, un des pionniers du constructivisme, dit en substance que l'apprenant est l'architecte de son savoir.

Cette activité de construction est rythmée par les processus d'assimilation et d'accommodation. L'assimilation est le processus de construction d'une notion, de reconnaissance du rôle d'un facteur qui mène à une réponse appropriée par rapport à un problème posé. L'accommodation est le processus d'application pertinente de la notion construite ou du facteur reconnu à des situations nouvelles.

C'est ici le lieu de préciser ici en quoi la présente recherche adopte une perspective constructiviste, comme nous l'avons proclamé dès le début de ce travail.

Dans une perspective constructiviste, nous l'avons déjà souligné, le rôle du sujet apprenant est central. Par rapport à l'élève, plusieurs axes de recherche en didactique se sont développés : les modes d'appréhension des contenus par l'apprenant, la nature des idées premières (conceptions dans notre option terminologique) et leur évolution, les niveaux de formulation des contenus, les éléments de transposition didactique...

Notre recherche s'intéresse à une activité d'enseignement/apprentissage à partir du pôle enseignant. De la même façon que le constructivisme considère que les idées premières des élèves sont déterminantes pour l'apprentissage, nous faisons l'hypothèse que dans la préparation et dans la conduite des activités scolaires de résolution de problème, les conceptions des enseignants et leur évolution sont déterminantes. En cela nous rejoignons les positions de Hashew (1996) qui a mis en évidence le rôle des conceptions épistémologiques dans les pratiques pédagogiques des professeurs de sciences.

Les conceptions des enseignants méritent d'être étudiées pour une amélioration de la formation des enseignants. Notre travail s'inscrit donc dans un projet constructiviste global au service de la formation des enseignants. Les conceptions des professeurs en matière de résolution de problème font partie intégrante de la pensée des enseignants (Tochon, 1995).

Notre option pour une approche didactique nous amène à nous intéresser, à présent, aux spécificités de la physique et de la chimie, sciences expérimentales par excellence.

II.3.2.2. Les spécificités de la physique et de la chimie

La physique et la chimie sont des sciences de modélisation et de mesurage. La modélisation permet de se distancer par rapport à un monde réel par essence complexe et de générer des connaissances scientifiques. Celles-ci sont toujours approchées,

partielles et provisoires. Il y a une sorte de relation circulaire entre les caractéristiques des connaissances et les processus de modélisation.

Ces considérations ont naturellement un impact sur le processus d'apprentissage des sciences. En effet, pour être pertinent, l'enseignement doit impliquer l'apprenant dans l'entreprise de construction des sciences. Les connaissances englobent donc, de manière spécifique, à la fois le processus de construction, les règles de fonctionnement et les résultats du processus. Nous entrons au cœur de la perspective de la didactique des sciences.

Pour accompagner cette construction progressive des connaissances par l'apprenant, l'enseignant assure une fonction de médiateur.

L'enseignement de la physique et de la chimie doit prendre en compte toutes ces données tout en étant sensible à un processus latent qui se dévoile au grand jour: la physique et la chimie tendent à se rapprocher des mathématiques comme discipline de sélection dans l'enseignement secondaire, même si leur caractère prédictif dans la réussite scolaire n'est pas établi.

Les données que nous avons fournies dans l'introduction de ce travail (les résultats à l'examen du baccalauréat, session 2000-2001) dans le contexte du Sénégal constituent une illustration. La didactique de la physique et de la chimie est donc plus que jamais interpellée.

Le courant de recherche de la didactique des disciplines a été amorcé par les mathématiciens dans les années 1970, qui ont construit des concepts de didactique, progressivement adoptés par les autres disciplines, ce qui ne pouvait pas manquer d'engendrer des ambiguïtés et parfois des controverses (Astolfi et Develay, 1989).

Mais un consensus s'est fait autour d'un ensemble de concepts devenus les éléments identitaires de la didactique des sciences (Toussaint, 1996). Ainsi toute situation d'enseignement met en présence l'enseignant, l'élève et le savoir à enseigner qui constituent respectivement, le pôle sociologique, le pôle psychologique et le pôle épistémologique. La didactique prend en charge à la fois les trois pôles et leurs interactions.

La didactique de la physique et de la chimie s'est singularisée par l'accent mis sur la relation entre l'élève et le savoir. Cela s'est traduit par de nombreuses recherches sur

les conceptions des apprenants (les auteurs ont souvent préféré le terme de représentation). Nous avons déjà expliqué pourquoi nous avons choisi le terme de conception.

L'enseignant est considéré comme le pôle sociologique de cette approche didactique. On peut cependant s'interroger sur la pertinence de cette qualification. L'enseignant de physique et/ou de chimie est également en interaction avec le savoir par essence en mouvement. Il est lui-même constamment confronté en sa qualité de médiateur au processus de construction, avec ses "va et vient".

Il nous semble donc que les recherches en didactique devraient également s'intéresser à l'enseignant, non pas seulement en tant que pôle sociologique participant de l'environnement social, mais aussi en tant qu'acteur cognitif. Ses conceptions du savoir scientifique, de l'apprentissage, des démarches intellectuelles, de la résolution de problème pourraient faciliter ou entraver l'entreprise de construction des connaissances par l'élève.

Nous verrons dans la suite comment la recherche en didactique de la résolution de problème en physique et chimie n'a pas suffisamment pris en compte cet aspect de l'analyse.

II.3.3. La didactique de la résolution de problème

La résolution de problème au niveau didactique est prise en charge à travers trois perspectives : l'évaluation, l'apprentissage, la recherche.

II.3.3.1. La résolution de problème comme outil d'évaluation

Dans le système d'enseignement des sciences, la résolution de problème est considérée comme l'activité intellectuelle à travers laquelle on évalue les compétences de l'élève. Dans l'enseignement secondaire, cette évaluation se fait à travers une liste d'énoncés qui portent les noms d'« exercices » ou de « problèmes », sans qu'on puisse en déterminer avec précision les limites. Où s'arrête l'exercice et où commence le problème ?

Les récentes recherches en didactique ont commencé à produire quelques résultats timides dans la formulation des exercices et problèmes, avec un accent mis sur les

phénomènes physico-chimiques et le développement des exercices « qualitatifs ». Mais le résultat numérique continue encore à « faire la loi » et à déterminer le sort de milliers d'élèves.

Il y a encore une sorte de tension entre les recommandations s'appuyant sur les recherches en didactique, notamment sur les processus d'acquisition du savoir scientifique et les modes d'évaluation qui se caractérisent par une grande inertie (Ratzu, 2000).

Les énoncés décrivent en effet des situations souvent très artificielles construites sur mesure pour « balayer tout le programme », et qui ne sont donc pas assez significatives par rapport aux élèves et parfois même pour les enseignants. Une caractéristique de ces problèmes d'évaluation est leur caractère fermé : il y a un résultat unique à trouver et parfois certains énoncés vont jusqu'à limiter le type de solution à élaborer.

De plus, dans la plupart des examens nationaux où la physique et la chimie interviennent, les épreuves orales ne sont considérées que comme des situations de rattrapage et non des occasions de s'assurer des efforts faits par l'élève pour s'approprier de manière contextuelle les savoirs scientifiques. La résolution de problème est rarement mise au service de l'apprentissage.

II.3.3.2. La résolution de problème comme activité d'apprentissage des concepts scientifiques

En plus de la finalité évaluative, dans le système enseignement/apprentissage de la physique et de la chimie, les activités de résolution de problème sont organisées soit à l'intérieur du cours, soit dans des séances particulières appelées séances de travaux dirigés.

A l'intérieur du cours, il s'agit souvent de ce qu'on appelle des exercices d'application. Le professeur après avoir établi une relation de manière théorique ou expérimentale, propose une situation qui permet de mettre en scène les nouveaux concepts par une application de la nouvelle relation. Il s'agit d'un renforcement de l'apprentissage.

L'expérience montre que très souvent les exercices d'application sont traités de manière mécanique, sans exploiter le potentiel d'apprentissage qu'ils recèlent (Sall et al., 1998).

Même si cela n'arrive pas souvent, certains concepts de la physique et de la chimie peuvent être approchés par résolution de problème.

En physique par exemple, le théorème des moments peut être appris à partir d'une situation-problème consistant à demander à rétablir l'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe, par la détermination expérimentale de la force à appliquer et avec un bras de levier déterminé. L'égalité des moments des deux catégories antagonistes de forces permettra ensuite d'énoncer le théorème des moments.

La chimie fournit également de nombreux exemples. Le concept d'acide faible peut être construit à partir d'un exercice consistant à déterminer la concentration des différentes espèces chimiques en présence lorsqu'on met en solution un acide, le PH de la solution finale étant donné.

Ainsi, en comparant la concentration initiale de l'acide à la concentration des ions hydronium, on découvre une nouvelle catégorie d'acides qui se dissocient partiellement, et qui, pour cela, sont appelés acides faibles.

L'apprentissage par situation-problème, est une nouvelle approche de l'apprentissage qui est appelée à se développer, compte tenu des modifications de l'environnement éducatif, notamment avec le développement des nouvelles technologies de la communication. Ce courant s'inscrit parfaitement dans le courant constructiviste, l'apprenant étant ici véritablement au centre de la construction du savoir.

Au Sénégal, des activités de recherche-action sur l'approche par situation-problème (Projet ENS de Dakar/ Université de Montpellier II / Université de Fez au Maroc, 1998-1999) ont été initiées avec des professeurs de physique et chimie. Les résultats obtenus ont été d'après le rapport de recherche tout à fait concluant.

En application de ces résultats, une équipe constituée de participants au séminaire a illustré cette démarche par un film portant sur le concept de masse volumique (Ratziu, Sall et Sow, 2000). La démarche consiste, à partir d'une situation-problème (*Le bijou acheté par la maman d'un élève à très bon marché est-il vraiment en or ?*), à mener les élèves, à partir d'interactions au sein de petits groupes et avec la médiation du professeur, à reconstruire le concept de masse volumique.

Lorsque l'apprentissage par situation-problème est érigé en principe de base d'un système de formation, on aboutit à l'apprentissage par problème (APP) comme cela se pratique à Maastricht. Dans un environnement très riche en ressources documentaires, l'étudiant, dans un cadre interactif, apprend en faisant directement face à des problèmes réels de la vie professionnelle. Il s'agit là d'une démarche socioconstructiviste. L'espace de pensée (Perret-Clermont, 2001) s'articule ainsi avec un espace d'action pour forger des compétences in situ.

II.3.3. 3. La résolution de problème comme support à la recherche

L'apprentissage par résolution de problème débouche naturellement sur l'activité de recherche. Celle-ci est peut être sous certains aspects, une activité de résolution de problème. Faire de la recherche, c'est résoudre un problème. Mais ici le problème est construit par le chercheur qui donne du sens à des faits. Bachelard (1938) parle de « problématisation ». Il en va de même souvent, pour les concepts et les démarches elles-mêmes . Il faut signaler que cette activité est très peu utilisée en contexte scolaire. Le concept de recherche dans le domaine de l'éducation reste encore marqué par des connotations généralement académiques, particulièrement dans le système universitaire sénégalais.

II.3.4. Vers des typologies spécifiques du problème en physique et chimie

Les typologies spécifiques du problème de physique et chimie s'inspireront des différents niveaux d'analyse : psychologique, épistémologique, pédagogique et didactique, tel que cela ressort de la littérature (Richard, 1990 ; Roegiers, 1993 ; Fabre, 1993 ; Ridao, 1993). Dans le cadre théorique général nous avons traité le niveau psychologique.

II.3.4.1. Approches épistémologiques

Du point de vue épistémologique (entendu comme signification des problèmes par rapport aux connaissances), trois auteurs ont retenu notre attention.

Une autre approche consiste à adopter une typologie dichotomique qui distingue les problèmes empiriques (ou d'ordre premier) et les problèmes conceptuels (Hempel, 1972).

Le problème empirique est défini alors comme ce qui pose problème dans un contexte spécifique et par rapport aux idées en vigueur (souvent préconçues), et qui demande une explication (des faits, des données).

Le problème conceptuel est relatif à la plausibilité ou à la cohérence d'une théorie. Les problèmes conceptuels se subdivisent en problèmes conceptuels internes (au sein d'une même théorie), et problèmes conceptuels externes (conflit entre deux théories, qui nécessitent de mettre au point une ou des expériences dites cruciales (Hempel, 1972).

Le problème résulte alors d'un processus d'élaboration théorique. En cela cette approche du problème rejoint d'une certaine manière celle de Bachelard (1938) pour qui, tout passe par un processus d'élaboration, qu'il désigne par le concept de problématisation.

Thomas Kuhn (1983) fait la distinction entre les problèmes normaux (définis au sein d'un même paradigme) et les problèmes de rupture (qui préfigurent l'émergence d'un nouveau paradigme). La typologie de Kuhn semble incluse dans la catégorie des problèmes conceptuels, dont les problèmes empiriques ressemblent fort aux problèmes normaux.

Bachelard(1938) s'intéresse surtout à la nature du problème. Selon lui le problème n'est pas un simple constat, c'est une construction. Maîtriser un problème, c'est être capable de le formuler et de le résoudre. En cela il se distingue de Popper(1972) qui parle de "ce qui fait problème" alors que Bachelard aborde le concept de problème sous l'angle de la problématisation (Ridaou, 1993).

Les cadres épistémologiques et psychologiques des typologies de problème vont alimenter la réflexion au niveau didactique.

II.3.4.2. Approches pédagogiques et didactiques

Roegiers (1993), s'appuyant à la fois sur Goguelin(1967) et D'Hainaut (1983) élabore une typologie sur la base du critère de nouveauté croisé avec les caractéristiques des trois éléments de base de l'espace-problème de Newell et Simon : le produit (but), la démarche(processus) et la situation de départ.

Roegiers établit d'abord une typologie simple basée sur la nouveauté d'une dimension :

- **le produit est nouveau** : « problèmes inducteurs d'apprentissages notionnels »
- **la démarche est nouvelle** : « problèmes inducteurs de démarches de résolution »
- **la situation est nouvelle** : « problèmes de mise en œuvre de notions et de démarches.

La dimension « nouveauté » est ensuite affinée pour dépasser la dichotomie nouveau/familier. Le tableau 24 suivant que nous avons conçu tente de rendre compte de cet éclatement opéré par Roegiers (1993).

Tableau 24 : Résumé synthétique de la typologie de problème de Roegiers (1993)

Sens croissant de la nouveauté				
Produit 1	Familier 11	Produit à renforcer 12		Nouveau 14
Démarche 2	Evidente 21	démarche à sélectionner 22	Ensemble de démarches familières 23	Nouvelle 24
Situation 3	Familière 31			Nouvelle 34

Tableau résumant la typologie des problèmes de Roegiers (1993)

Dans ce schéma chaque variante est définie en associant les chiffres correspondant à la caractéristique de chacune des dimensions. Nous donnons ci-dessous quelques exemples de types de problème définis par :

Problème de type 1 (produit nouveau) :

Variante (14 ; 21 ; 31) – variante (14 ; 22 ; 31) – variante (14 ; 22 ; 34) – variante (14 ; 24 ; 34).

Problème de type 2 (démarche nouvelle) :

Variante (24 ; 11 ; 31) – variante (24 ; 12 ; 31) – variante (24 ; 34 ; 11)

Problème de type 3 (situation nouvelle) :

Variante (34 ; 22 ; 11) – variante (34 ; 22 ; 14) – variante (34 ; 24 ; 11)

Dans cette schématisation, on peut définir un problème en regroupant les nombres qui définissent une position dans le tableau, sous forme triplets.

Par exemple la première variante du problème de type 1 (le produit est nouveau), le triplet (14, 21, 31) définit un problème dont le produit est nouveau, la démarche de résolution évidente et la situation familière. De même, le triplet (34, 22,11) définit un problème dans une situation nouvelle, la démarche devant être sélectionnée parmi des démarches connues, le produit étant familier.

Les critères de Roegiers sont faciles à définir. Il se pose cependant un problème pratique à cause du caractère relatif de la notion de nouveauté, particulièrement dans des contextes de classes hétérogènes : on ne peut connaître à priori, face à une situation, quels sont les élèves qui sont réellement devant un problème.

Cette question de la relativité du problème est importante. En effet, suivant que la situation est un problème ou non, les démarches de résolution ne sont pas les mêmes. La position par rapport à un « problème » influe sur les démarches cognitives à mettre en œuvre.

Par exemple, lorsqu'on présente à quelqu'un un sujet qui lui est familier, dont il connaît la solution , son effort intellectuel se limitera à une restitution. Lorsqu'il ne connaît que la règle qui permet de résoudre son « problème » il fera au plus une application. le sujet pour lequel la situation et/ou les procédures à utiliser sont nouvelles, sera confronté à un véritable problème dont la solution devra être construite.

Nous pensons qu'il est possible de rendre le tableau synthétique de Roegiers plus homogène en affinant davantage l'échelle de nouveauté. Toutes les cases du tableau seraient alors occupées, comme l'indique le tableau 26.

Tableau 25 : Version affinée du tableau 24

Produit 1	Familier 11	Assez familier 12	Peu familier 13	Nouveau 14
Démarche 2	Evidente 21	Démarche familière à sélectionner 22	Ensemble de démarches familières 23	Nouvelle 24
Situation 3	Familière 31	Assez familière (beaucoup de similitudes avec des situations familières) 32	Situation peu familière (quelques similitudes avec des situations vécues) 33	Nouvelle (aucune similitude avec un vécu) 34

Même si le tableau 25 ne résout pas entièrement les questions aux difficultés inhérentes au concept de nouveauté, il a l'avantage, à notre avis, d'enrichir l'analyse des types de problèmes.

Enfin, toujours au niveau didactique, Dumas-Carré et Goffard (1997) font la distinction entre les problèmes de la vie quotidienne ou professionnelle et les problèmes scolaires ou académiques. En effet le terme « problème » s'emploie pour désigner des situations de la vie courante ou professionnelle ou des activités scolaires spécifiques. Ces deux auteurs résument cette distinction par le tableau suivant :

Tableau 26 : Typologie dichotomique de Dumas-Carré et Goffard (1997, p. 9).

Problèmes de la vie quotidienne ou professionnelle	Problèmes scolaires ou académiques
Souvent plusieurs solutions sont possibles	Un seul résultat est « juste »
La situation est floue, mal définie ; il y a du travail pour « définir » le problème avant de chercher à le résoudre	La situation est totalement définie
Une solution est jugée en termes de pertinence ou de cohérence ou d'avantages	La solution est jugée en termes de « juste » ou « faux »
La résolution est à construire complètement	La résolution est guidée par les données
C'est le résultat obtenu qui compte	Le résultat importe peu, c'est la façon dont il a été obtenu qui importe

Ce tableau a l'avantage d'avoir bien contrasté les deux types de problèmes identifiés. Cependant, comme cela arrive souvent, la nécessité d'une modélisation aboutit à des affirmations qui contredisent la réalité.

En effet, sur la deuxième ligne des items caractérisant les deux catégories, il est surprenant de considérer que les situations présentées aux élèves sont totalement définies. A notre avis , c'est une simple impression de l'enseignant. Dans un travail antérieur, nous avons montré, sur la base d'un exemple de problème de chimie, que pour élaborer une solution en toute rigueur, il y a toujours des hypothèses auxiliaires à faire intervenir par rapport aux systèmes physico-chimiques en jeu (Sall et al. 1998). Même si les énoncés contiennent en eux-mêmes des modélisations à priori (il n'y a pas de frottements, le système est thermiquement isolé, le gaz est considéré comme parfait,

la dissolution de la substance ne modifie pas le volume initial...), il y a toujours des choix à faire, ne serait-ce qu'en termes d'interprétation du texte.

De même, à l'avant-dernière ligne du tableau, on a opposé « la solution est à construire entièrement » et « la résolution est guidée par les données ». En réalité, même pour les problèmes de la vie quotidienne, ce sont les données qui guident la résolution, particulièrement les données qualitatives.

De même, dans les faits (dernière ligne du tableau 26), pour les problèmes scolaires ou académiques, les résultats comptent souvent plus que la démarche utilisée, malgré quelques innovations en matière d'évaluation.

Ainsi, toute approche du concept de problème s'accompagne de manière explicite ou non d'une conception de la résolution de problème. Mais celle-ci fait toujours appel à des activités cognitives d'un sujet. C'est le processus qui consiste à atteindre le but à partir d'une situation de départ.

Cependant, un sujet aborde un problème avec ses connaissances, ses conceptions, tout en demeurant sensible aux stimulus de l'environnement.

Jonnaert (1988), cité par Roegiers (1993) exprime de manière originale le rôle des connaissances dans cette étape ; « Avant même d'être confronté à tout autre savoir, l'élève est donc d'abord confronté à son propre savoir » (p.219)

En résumé sur le processus de résolution de problème, à travers la littérature que nous avons parcourue (D'Hainaut, 1977, 1983 ; Gagné, 1985 ; Newell et Simon, 1972 ; Glover et al., 1990 ; Roegiers, 1993 ; Goffard, 1994), une convergence apparaît sur l'existence de quatre étapes générales : 1. l'analyse de la situation ; 2. la résolution ; 3. la validation ; 4. la communication de la démarche.

La plupart des analyses portant sur la résolution sont axées sur une explicitation de ces quatre étapes fondamentales.

L'analyse de la situation met l'accent sur la représentation du problème. Le terme de représentation a ici une signification situationnelle : il est relatif à un problème donné. La représentation est une construction : c'est le produit de la compréhension du problème.

Le concept de compréhension renvoie à deux perspectives qui sont en fait liées : la perspective épistémique renvoie à une intégration de la nouvelle information dans les structures cognitives du sujet : la deuxième perspective dite pragmatique a pour finalité l'identification du résultat à atteindre.

La compréhension prise au sens pragmatique renvoie à la notion de tâche. La situation à analyser comprend deux pôles : le sujet et la tâche, c'est-à-dire ce que le sujet a à faire. La tâche est au cœur de la résolution de problème. Dumas-Carré et Goffard (1997) mettent en garde contre la confusion entre problème et tâche. Une même tâche peut être une simple exécution de procédures déjà maîtrisées et donc qui « ne pose pas problème » au sujet, alors qu'elle peut constituer un véritable problème pour un autre.

Richard (1990) quant à lui conçoit la tâche comme l'unité qui permet de découper et d'analyser le travail cognitif en composantes qui ont une certaine autonomie. Elle est caractérisée par un résultat à atteindre, par des contraintes dans l'obtention de ce résultat, et par un domaine de connaissances spécifiques.

En réalité, il nous semble que cette notion de tâche comporte également une dimension épistémique: c'est la représentation du problème qui renvoie à une interprétation de l'ensemble des données de la situation initiale.

L'étape de résolution est prise en charge par l'espace-problème de Newell et Simon (1972). Il s'agit de construire un chemin entre la situation de départ et le but à atteindre. La résolution est donc un processus, une construction, une dynamique. Elle appelle à une mobilisation de connaissances générales et spécifiques, à des opérateurs ou une combinaison d'opérateurs. Les processus suivis face à un même problème peuvent donc varier d'un sujet à un autre tout en étant efficaces.

La validation justement consiste à s'assurer que la solution proposée permet bien d'aboutir au but à atteindre, mais avec une dimension économique : une solution peut être valide sans être économique. La solution élaborée et validée est appliquée. La dernière phase de communication des résultats est particulièrement importante dans le contexte scolaire. Elle permet en même temps de contrôler une dernière fois la valeur de la solution.

En partant de ces différentes typologies, il est possible d'élaborer une typologie souple et adapté à la physique et à la chimie. Les problèmes utilisés dans l'enseignement

secondaire sont essentiellement des problèmes normaux au sens de Kuhn (1983), dans les contextes d'évaluation sommative ou certificative. Mais des problèmes de rupture sont parfois utilisés dans une perspective de sélection ou de construction de nouveaux concepts, de nouveaux savoirs.

La typologie de Levy-Leblond (1980) nous semble être une bonne transition entre les typologies générales et les typologies plus spécifiques. Il distingue trois types de questions comme outil pédagogique en physique :

- la question de contrôle qui permet de vérifier la compréhension des concepts et des lois enseignées avec des choix dichotomiques ou multichotomiques;
- la question d'application qui permet de mettre en jeu les lois fondamentales de la physique dans des situations concrètes simples, proches de la situation quotidienne;
- la question de critique conceptuelle dont la tâche consiste à examiner la logique interne et/ ou la validité des concepts utilisés.

La typologie que nous proposons contient essentiellement des problèmes normaux associés à quelques problèmes de rupture. Le critère utilisé est l'objectif de l'énoncé par rapport à l'apprenant .

Tableau 27 : Typologie de problème simplifiée réalisée à la suite de la revue de la littérature sur les typologies de problème.

Problèmes normaux	Problèmes de rupture
1. Problème d'instanciation des concepts : <u>objectif</u> : maîtriser les concepts-clés du cours par leur utilisation qualitative dans des contextes variés.	6. Problème de domaine de validité <u>objectif</u> : découvrir les limites du domaine de validité d'une loi, d'une méthode ou d'un principe.
2. Problème d'application : <u>objectif</u> : comprendre comment on applique une loi, une convention, une méthode, un principe dans une situation familière.	7. Problème de "problématisation" <u>objectif</u> : identifier l'existence d'une nouvelle problématique liée aux limites des outils théoriques et méthodologiques disponibles face à des faits nouveaux.
3. Problème d'illustration <u>objectif</u> : faire un lien entre les situations-problèmes abordées en classe et des situations de l'environnement familial.	
4. Problème de comparaison <u>objectif</u> : comparer des démarches théoriques et/ou expérimentales et faire un choix argumenté.	
5. Problème d'extrapolation <u>objectif</u> : en partant d'une question résolue portant sur une situation connue ou étudiée en classe, imaginer les possibilités de transfert à des situations ou à des données empiriques non familières.	

Nous nous proposons dans un travail ultérieur d'expérimenter cette typologie pour en faire un outil didactique au service de la résolution de problème. Cependant, dans le cadre de nos activités au département de physique et chimie de l'Ecole Normale Supérieure de Dakar, nous avons encadré un travail de fin d'études sur une adaptation de cette grille (Cissé, 2000).

Après une brève analyse de la typologie, l'auteur, compte tenu du temps dont il disposait pour faire le travail, a extrait une typologie simple de quatre catégories : problème de restitution, problème d'application, problème d'identification, problème d'extension.

En s'inspirant des objectifs définis dans la typologie que nous avons proposée, Cissé (2000) a sélectionné des indicateurs pour chaque catégorie.

Après avoir testé les indicateurs sur 8 problèmes classiques (3 problèmes de chimie et 5 problèmes de physique), l'auteur a procédé à une validation de sa nouvelle typologie

par les enseignants. Il a demandé à un échantillon de 15 enseignants en exercice de ranger, à partir d'un questionnaire, une liste de problèmes dans les quatre catégories. Les résultats ont montré que seule la catégorie « problème de restitution » avait fait l'unanimité des enseignants. Par contre certains « problèmes d'application » ont été classés dans la catégorie « restitution » (six enseignants sur 15). Les catégories « identification » et « extension » n'ont fait l'objet que d'une confusion.

Ces résultats, obtenus dans le cadre d'un petit exercice à la recherche en éducation, montrent que pour arriver à faire de cette typologie un outil didactique, surtout dans la formation des enseignants, un travail ultérieur devra être mené. La recherche en résolution de problème en contexte scolaire doit faire l'objet d'une attention particulière.

II.3.5. Les recherches en résolution de problème en physique et chimie

Nous présenterons des illustrations de trois courants de recherche :

- les recherches centrées sur le paradigme expert/novice ;
- les recherches destinées à développer les compétences des élèves en résolution de problème;
- les recherches qui veulent transformer la résolution de problème en stratégie d'apprentissage de la physique et de la chimie par la construction de concepts.

II.3.5.1. Les recherches axées sur le paradigme expert/novice

Parmi les courants de recherche en didactique de la résolution de problème, il faut signaler le paradigme expert/novice dans lequel se sont particulièrement investis (Chi, Feltovitch et Glaser, 1981).

Le paradigme expert/novice est une approche de la résolution de problème basée sur une catégorisation des sujets en face d'un problème. Cette catégorisation s'appuie sur l'observation de différences significatives de comportement entre les sujets qui réussissent le plus à résoudre les problèmes et les sujets qui ne réussissent pas. Le premier groupe qui est marqué par une connaissance approfondie de la matière est appelé « groupe des experts ». Le second groupe est composé de sujets n'ayant pas une

grande connaissance de la matière : pour cela ils sont appelés « novices », d'où le nom du paradigme.

Chi et al. (1981) ont fait leurs recherches dans le contexte des sciences, particulièrement en physique. Des différences manifestes ont été observées entre les experts et les novices. La reconnaissance des stratégies des « experts » et des « novices » a reposé sur le protocole suivant :

- on identifie les domaines de connaissances spécifiques ;
- on identifie les experts dans les domaines de connaissances spécifiques par un test ;
- on demande aux « experts » et aux « novices » de résoudre un ensemble de problème tout en verbalisant le protocole suivi, y compris les aspects affectifs ;
- les chercheurs procèdent ensuite à une analyse des protocoles verbalisés.

C'est ainsi qu'on a identifié les différences suivantes entre l'expert et le novice comme l'indique le tableau 28.

Tableau 28 : Comparaison entre l'expert et le novice dans un domaine de connaissances face à la résolution de problème selon Chi et al. (1981).

Observations faites sur l' « expert »	Observations faites sur le « novice »
1. Il a beaucoup de connaissances	1. Il n'a pas assez de connaissances
2. Il possède assez de connaissances procédurales	2. Il possède plutôt des connaissances déclaratives
3. Il est plus efficace dans la mobilisation de ses connaissances	3. Il mobilise difficilement ses connaissances
4. Il réactive ses connaissances sous forme de réseaux cohérents	4. Il réactive ses connaissances sous forme de contenus disjoints
5. Il reformule le problème initial en mettant en évidence les phénomènes, les concepts, les lois et principes de base	5. Il se limite à l'énoncé dans sa forme initiale ou en fait une lecture superficielle
6. Il utilise une stratégie de résolution progressive : identifie les variables, génère des équations et les résout	6. Il utilise une stratégie régressive : il part d'une équation contenant la grandeur à mesurer et cherche les données manquantes.
7. Il résout plus rapidement les problèmes (4 fois plus rapide que le novice)	7. Il est lent dans la résolution
8. Il réussit le plus souvent à résoudre le problème	8. Il échoue le plus souvent dans ses tentatives de résolution
9. Il évalue les résultats obtenus	9. Il n'évalue pas les résultats

On retrouve chez « l'expert » une démarche qui intègre deux étapes importantes du processus de résolution de problème esquissé dans la littérature : la construction d'une représentation personnalisée du problème qui se traduit par une reformulation originale et l'évaluation de la solution élaborée.

L'importance des connaissances de manière générale et des connaissances procédurales en particulier, dans la réalisation d'une tâche induite par le problème à résoudre est également un autre résultat important de cette recherche.

Les connaissances n'interviennent pas seulement par leur volume, mais aussi par la qualité de leur stockage qui détermine l'efficacité de leur réactivation au service d'une tâche à réaliser.

L'opposition entre l'expert et le novice en résolution de problème est illustré par Chi et al.(1981) dans un schéma devenu classique reproduit par Gagné (1985 ; p.273-274) : la comparaison entre les démarches de l'expert et du novice dans le cadre d'un problème portant sur le plan incliné dans les problèmes de mécanique.

On observe une différence nette entre les deux structures conceptuelles qui traduisent bien les démarches progressive et régressive qui caractérisent respectivement l'expert et le novice. Alors que l'expert part des principes généraux de la mécanique et identifie les lois et leurs conditions d'application, le novice se caractérise par une structure conceptuelle désorganisée.

On peut ici émettre l'hypothèse que les connaissances conditionnelles ont joué un rôle déterminant dans la structuration du champ conceptuel des sujets. Plusieurs travaux dont certains ont été déjà signalés viennent à l'appui de cette hypothèse, dont Bugerere (1998).

Cependant, cette dichotomisation des sujets en experts et novice nous semble trop manichéenne.

Sur le plan pédagogique cette description nous semble trop figée, même si ce paradigme donne une base d'analyse et des données empiriques sur la résolution de problème en science. La question du passage du novice à l'expert, ou plus précisément le développement des compétences en résolution de problème, nous semble être cruciale pour faire face à la faiblesse des élèves en résolution de problème.

II.3.5.2. Les recherches de développement des compétences en résolution de problème

Dans ce type de recherche, l'apprentissage porte sur la résolution de problème et non sur les concepts disciplinaires. Les situations expérimentales sont constituées par des problèmes classiques donnés dans l'enseignement secondaire ou dans les premiers cycles universitaires. Il s'agissait d'analyser le processus de résolution en mettant l'accent sur l'importance de phases qui structurent la démarche de l'expert. Les activités cognitives de l'élève sont également prises en compte dans l'expérimentation. Dans ce courant de recherche il faut signaler Rief (1981), Heller et Rief (1984) qui ont insisté sur l'importance de la représentation du problème que ces auteurs considèrent également comme une phase critique.

La méthode utilisée est un entraînement systématique et une explicitation du produit attendu. Les rapports de recherche de Rief et al. ne renseignent cependant pas assez selon Goffard (1993) sur le mode de travail pédagogique et le traitement des données recueillies lors de l'évaluation.

Une équipe de recherche des Pays-Bas (Mettes et al. 1980) appartient également à ce courant. A partir de problèmes de niveau premier cycle universitaire, ils ont axé leurs activités sur une résolution modèle qui cependant se démarque de celle de l'expert. Le processus de résolution est décomposé en phases décrites en termes d'activités cognitives. L'action menée par ce groupe de recherche consistait surtout à apprendre aux étudiants à reconnaître des problèmes dits « standards » et à leur appliquer des routines qui ont été développées. Mais Mettes et ses collègues n'ont pas fourni assez d'informations sur les stratégies pédagogiques mises en œuvre, qui apparaissent ainsi comme le contenu d'une boîte noire. On voit là que dans le cadre scolaire les tâches d'application sont également désignées par le terme de problème.

Une autre équipe de recherche du LIREST (Université de Paris 7) a mené de nombreuses recherches qu'on peut ranger dans ce courant (Dumas-Carré, 1987 ; Caillot, Dumas-Carré et al., 1988 ; Caillot et al., 1990 ; Goffard, 1993 ; Dumas-Carré et Goffard, 1997).

C'est ainsi que cette équipe a développé une méthode pour résoudre des problèmes de physique appelée méthode PROPHY (**PRO**blèmes de **PHY**sique).

L'élaboration de cette méthode a été précédée d'enquêtes auprès d'enseignants en formation et d'élèves en situation de résolution de problème.

Aux enseignants en formation il était demandé de donner des explications de la faiblesse des élèves en résolution de problème. Ils ont ainsi identifié trois éléments : les difficultés pour lire l'énoncé, une connaissance insuffisante de la matière et des difficultés d'ordre mathématique.

L'enquête auprès des élèves reposait sur des entretiens réalisés en situation de résolution de problème et une analyse de contenu faite sur des copies d'évaluation. Les difficultés identifiées auprès des élèves étaient observées à deux niveaux .

Selon l'enquête, les élèves éprouvaient d'abord des difficultés pour comprendre les concepts de physique au-delà de la connaissance de la définition. Même lorsque la signification des concepts était acceptable, le champ d'application n'était pas délimité et les conditions d'utilisation peu maîtrisées (connaissances conditionnelles).

La deuxième difficulté était liée à la construction d'une représentation du problème au sens de Newell et Simon (1972). Cette enquête confirme des données déjà révélées par plusieurs études antérieures, notamment dans le paradigme expert/novice.

L'apprentissage de la résolution de problème développé par cette équipe de recherche, dans le cadre de la méthode PROPHY se faisait surtout par la mise au point d'aides cognitives spécifiques pour guider le processus d'élaboration de la représentation du problème, dans le sillage des travaux de Rief (1983) et de Mettes (1980).

L'impact de telles aides a été testé dans de nombreuses recherches par les membres de l'équipe de recherche. Les conclusions tirées de cette recherches sont les suivantes :

- lorsque les aides cognitives sont fournies à la suite d'un cours classique, les résultats ont été peu significatifs.
- par contre, lorsque les aides sont intégrées dans l'enseignement, les résultats obtenus ont été nettement concluants.

L'interprétation que nous pouvons donner des expérimentations de la méthode PROPHY est que la résolution de problème, pour qu'elle puisse être développée doit être intégrée dans un projet pédagogique cohérent. On ne peut pas la développer en dehors du cours lui-même, c'est-à-dire en dehors du travail de l'enseignant. Quand on pense que l'enseignant agit en fonction de ses conceptions de cette activité, on perçoit déjà l'intérêt à s'intéresser à ces conceptions.

II.3.5.3. Les recherches axées sur la résolution de problème comme contexte d'apprentissage

Ce courant de recherche en didactique de la résolution de problème n'a pas pour objectif exclusif d'apprendre aux élèves à résoudre des problèmes. L'intérêt est porté sur l'apprentissage des concepts, des modèles et de la modélisation.

Le point de départ est la construction du savoir de l'élève à partir de leurs conceptions. En plus des problèmes scolaires, il y avait également des tâches d'ordre expérimental. Mais certains aspects de la résolution de problème, notamment la représentation, étaient pris en compte.

L'équipe de Gil Perez (Gil et Martinez-Terregosa, 1983 ; Dumas-Carré et al. 1990), a travaillé sur des problèmes ouverts, sans données. L'activité de résolution de problème est ici considérée comme une activité du chercheur dont les pratiques sont prises comme référence. L'expérimentation a lieu dans l'enseignement secondaire. Le processus de résolution est ici découpé en six phases dont la première est la problématisation, et la dernière, l'ouverture, un prolongement du problème. Les élèves travaillent par petits groupes pour élaborer le produit de chaque phase. La stratégie pédagogique utilisée inclue des échanges élèves-élèves et élèves-professeurs. Cependant cette recherche ne nous renseigne pas sur les résultats obtenus.

Weil-Barais et Lemeignan (1990) ont effectué des recherches sur l'apprentissage des modèles et des concepts. L'étude de ces concepts implique des analyses épistémologiques et psychologiques. La suite de la résolution de problème est destinée à la construction des concepts. Mais nous n'avons pas d'indications sur les résultats obtenus par Weil-Barais et Lemeignan (1990).

Robardet (1989) a également mené des recherches en résolution de problème avec pour finalité le développement de compétences en modélisation, à partir des idées initiales des élèves en physique. Des interventions didactiques appropriées sont fournies aux élèves face à des situations-problèmes emboîtées permettant, en passant par des modèles intermédiaires, de construire le concept.

Cette trajectoire de modélisation est guidée par des hypothèses émises lors de la première phase du schéma suivant : action – formulation – validation. Mais dans cette recherche également on ne fournit pas d'informations sur les résultats obtenus par Robardet.

Dans la suite de leurs travaux antérieurs, et sous l'influence de la perspective ouverte par l'équipe de Gil Perez, Dumas-Carré et Goffard (1997) ont développé des recherches tendant à mettre au point des outils pour « apprendre de la physique en résolvant des problèmes » et promouvoir des « activités de résolution de problème semblables à des activités de recherche pour apprendre la physique ».

Dumas-Carré et Goffard (1997) , pour mettre la résolution de problème au service de l'apprentissage de la mécanique, ont mis au point des outils : le diagramme objets-interactions (DOI) et le découpage spatio-temporel. Les auteurs désignent l'ensemble par le terme de « bande dessinée ».

En réalité la démarche de Dumas-Carré et Goffard, qui se veut novatrice, reste toujours marquée par les préoccupations antérieures, particulièrement le développement de la phase de représentation du problème.

Le diagramme objets-interactions (DOI), selon les auteurs, est une schématisation qui se veut une représentation des objets et des interactions entre les objets. Il a pour fonction de servir d'interface entre :

- une représentation figurative des objets et leur symbolisation par le physicien. En mécanique du point, les objets sont représentés par des points auxquels sont associés des grandeurs physiques;
- une description phénoménologique des situations (l'objet A agit sur l'objet B) et une description faisant intervenir le concept de force (l'objet C est soumis à une force).

Le DOI est selon les auteurs une mise en forme symbolique des constructions conceptuelles d'objets, de manière à aider l'élève à comprendre et à appliquer les notions de physique. Ainsi la construction de la représentation d'un problème trouve en amont un support dans l'enseignement dispensé. Cela nous ramène encore une fois au rôle de l'enseignant.

Quand au découpage temporel, il avait principalement deux objectifs :

- faire la distinction entre le concept d'instant (durée nulle) et celui de phase (durée non nulle);
- relier les phases d'un mouvement à l'analyse des forces s'exerçant sur le système étudié.

L'apprentissage de ces deux outils a été mis en œuvre dans des conditions ordinaires, sous forme de travaux pratiques, avec des groupes de discussion impliquant les élèves et le professeur.

Après l'expérimentation, les auteurs ont évalué deux aspects de leur innovation : l'impact sur les acquisitions conceptuelles des élèves et la pertinence de l'utilisation des aides. Il s'agissait de comparer les performances d'un groupe expérimental de 36 élèves (qui a bénéficié d'une formation sur le DOI) et celles de 112 élèves constituant un échantillon-témoin.

L'évaluation a révélé une amélioration nette du concept d'interaction chez les élèves ayant bénéficié de cette formation, même si les différences ne sont pas du même ordre de grandeur suivant les items du test d'évaluation. Un autre résultat, obtenu à partir de l'analyse des copies des sujets faite par les auteurs, est une modification de l'approche que les élèves avaient de la résolution de problème.

C'est pour approfondir ces premiers résultats que Dumas-Carré et Goffard (1997) ont mis ensuite au point des « activités de résolution de problème semblables à des activités de recherche pour apprendre la physique ».

Les auteurs placent ce deuxième volet de leur recherche dans une perspective de changement conceptuel, c'est-à-dire de modification des conceptions sur les connaissances scientifiques que véhicule de manière implicite ou explicite l'enseignement traditionnel des sciences. La physique apparaît dans l'enseignement comme un corpus de connaissances définitivement établies et reconnues. Les problèmes à résoudre ne peuvent être dans ce cadre que des questions fermées, qui ont des solutions connues par les experts que l'élève doit simplement reconstruire, ou ne pas dire, rappeler.

A cette vision statique de la physique, les activités nouvelles de résolution de problème devraient substituer une vision dynamique, ouverte, donnant des occasions de questionnements divergents, d'impasses et de remises en cause.

Les activités nouvelles ont été construites par les chercheurs à partir d'une explicitation de la démarche scientifique en sept étapes :

1. élaborer une problématique ;
2. choisir un cadre théorique et/ou un niveau de modélisation;
3. émettre des hypothèses;
4. définir les données qu'il faudra recueillir pour tester les hypothèses;
5. établir un plan d'expériences, l'exécuter en contrôlant la méthodologie;
6. interpréter les résultats et conclure à propos des hypothèses;
7. déterminer de nouvelles questions, maintenant abordables, et susceptibles de conduire à de nouvelles recherches.

La mise en œuvre de ces activités implique naturellement une préparation spécifique, le mode de gestion de la classe étant radicalement modifié, en particulier le rôle du professeur, qui devient alternativement un guide et une personne-ressources (travaux de groupe des élèves), professeur animateur (au cours des discussion en séance plénière) et un professeur « institutionnalisateur » (quand devant le groupe-classe élèves il rappelle cadre, recentre les activités, et les met en perspective).

L'évaluation de l'expérimentation de cette approche a été faite sur deux axes : les modifications des comportements des élèves face aux activités de résolution de problème et les performances des élèves en résolution.

Le comportement a été décomposé en six (6) dimensions :

- les activités des élèves au début de la résolution (les élèves consacrent-ils du temps à l'analyse qualitative, l'identification du contexte et des conditions ?)
- les activités d'émission d'hypothèses (les élèves émettent-ils de manière explicite des hypothèses avec prise en compte de cas limites ?).
- les stratégies (les élèves explorent-ils plusieurs pistes avant de choisir une stratégie conduite qualitativement jusqu'au bout avant le traitement mathématique ?)
- l'explicitation du raisonnement (les élèves donnent-ils clairement des explications d'ordre physique au lieu d'aligner des calculs mathématiques ?)
- les résultats obtenus (sont-ils analysés par les élèves ? sont-ils mis en relation avec les hypothèses ?)

- l'attitude en face de la résolution de problème (les élèves sont –ils devenus plus persévérants ? Y a-t-il moins d'abandons en cours de résolution ?)

Les chercheurs ont opté pour une évaluation globale des performances. En plus de la dichotomie réussite/échec, on a adopté par le biais de consignes claires données aux élèves une méthodologie permettant de recueillir le maximum d'informations sur le déroulement de la résolution : « *verbaliser le raisonnement, ne rien effacer ou barrer même lorsque il y a eu erreur ou abandon d'un chemin...* »

Les révélateurs des comportements et des performances des élèves ont été constitués de problèmes classiques de difficulté moyenne, des problèmes comportant une ou des données inutiles, et des problèmes classiques de difficulté supérieure à la moyenne.

Le groupe expérimental était constitué d'une classe de 40 élèves de 1^{ère} ayant travaillé avec la méthode pendant une année scolaire. Deux groupes témoins étaient constitués de 38 élèves de la classe de 1^{ère}) et de 68 élèves de Terminale.

Sur les six dimensions du comportement des élèves, les résultats ont une différence significative ($p < 0,1$), entre les élèves de la classe expérimentale et les élèves des groupes témoins, particulièrement au niveau du comportement de départ (précipitation sur les données numériques) et sur l'utilisation de données superflues (très nette chez les élèves-témoins).

Les élèves expérimentaux réussissent mieux en performance globale, particulièrement lorsque le problème est de difficulté au-dessus de la moyenne. De même le pourcentage d'abandon est de loin plus faible chez les élèves du groupe expérimental.

Les recherches menées par Dumas-Carré et Goffard ont permis de mettre en évidence la place de la résolution de problème dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Il ne s'agit pas d'activités destinées uniquement à évaluer les élèves. Elles participent de la construction du savoir scientifique. La résolution de problème est au cœur du système enseignement/apprentissage des sciences.

II.3.5.4. Conclusion sur les recherches en didactique de la résolution de problème en physique et chimie

La revue précédente a montré que la résolution de problème est l'objet de beaucoup d'attention de la part des chercheurs en didactique. Les recherches que nous avons

répertoriées se distribuent comme nous l'avons montré, en différents courants allant du paradigme expert/novice (Chi et al.1981) aux recherches axées sur le développement des capacités en résolution de problème dans une perspective d'augmenter les performances des élèves mesurées par les évaluations de type classique (Caillot, Dumas-Carré et al., 1988 ; Rief, 1983 ; Mettes, 1984).

Mais très vite, la résolution de problème s'est révélée être une stratégie de modélisation (Robardet, 1989 ; Weil-Barais et Lemeignan , 1990).

Les récents travaux de Dumas-Carré et Goffard, dans leurs tentatives de mettre la résolution de problème au service de la construction des concepts de physique, ont abouti à des résultats qui montrent qu'il est possible de dépasser la situation actuelle des apprenants face aux problèmes de physique et de chimie.

Sur le plan méthodologique, les recherches se sont appuyées sur l'observation des apprenants en situation de résolution de problème et/ou l'analyse de productions d'élèves. Certaines recherches n'ont pu aboutir à des conclusions sans que les auteurs aient apporté des justifications.

Dans de nombreuses recherches (Chi et Feltovich, 1981, ; Caillot, 1988 ; Dumas-Carré et Goffard, 1997), le rôle des connaissances, notamment les connaissances procédurales qui permettent de faire une bonne représentation du problème, est apparu comme une donnée incontournable(le paradigme expert/novice).

Le cadre problématique implicite de toutes ces recherches place les élèves au centre des préoccupations, ce qui est parfaitement en adéquation avec les positions les plus novatrices en psychologie de l'apprentissage. Cependant le rôle de l'enseignant est souvent passé sous silence même si Dumas-Carré et Goffard admettent que les outils qu'elles proposent impliquent une modification du mode de gestion de la classe et du rôle du professeur.

Il apparaît que quelque soit le contexte d'innovation, l'enseignant est appelé à jouer un rôle important pour transformer les activités scolaires de résolution de problème, à la fois dans le sens d'une plus grande efficacité interne (performances par rapport aux critères institutionnels de réussite), mais aussi dans le sens d'un changement de

perspective de l'enseignement de la physique et de la chimie, à la lumière des apports de la didactique.

Malgré ou à cause de la prégnance de plus en plus marquée du constructivisme dans la didactique des sciences, la pensée des enseignants (Tochon,1995), leurs croyances pédagogiques ou didactiques, leurs perceptions des activités d'enseignement-apprentissage, bref leurs conceptions, constituent, à notre avis, des variables dignes d'intérêt pour la recherche en didactique des sciences. Les situations de classe sont le lieu d'interférence de plusieurs épistémologies : celles des élèves loin d'être homogènes, et celle de l'enseignant détenant encore une position de pouvoir lié au crédit que lui accorde l'institution scolaire.

Il nous faudra voir comment replacer l'enseignant dans ces nouvelles perspectives. Pourquoi ne pas s'intéresser par exemple à ses conceptions celles-là même qui guident leurs actions et surtout qui déterminent leur engagement dans toute entreprise d'innovation en milieu scolaire ?

Cette dernière question nous sert de transition vers notre cadre problématique, l'objet du prochain chapitre.