

DES CONNAISSANCES NAÏVES AU SAVOIR SCIENTIFIQUE

**Responsable, Andrée Tiberghien,
UMR GRIC, CNRS – Université Lumière Lyon 2**

Synthèse commandée par le programme “ École et sciences cognitives ”

Mars 2002

Tables des matières

Introduction de la synthèse	7
Thème 1 : Connaissances “ naïves ” sur le monde matériel du bébé à l’adulte par F. Cordier et A. Tiberghien.....	9
1. Introduction.....	9
2. Les connaissances des bébés de 0 à deux ans	10
3. Les connaissances de l'enfant (2 - 11 ans)	12
3.1 Les travaux sur les connaissances langagières relatives au monde matériel	13
3.2 Les apports des recherches en psychologie	14
3.2.1 Les approches structurales du développement dans les lignées de Piaget et Vygotski.....	14
3.2.2 Des modèles généralistes de développement à ceux par domaines	15
3.3 Des travaux en psychologie aux travaux en didactique : la question des connaissances spécifiques et transversales	17
3.4 Les apports des recherches en didactique.....	18
4. Les connaissances de l'adolescent (11 - 18 ans)	19
4.1 Les travaux en didactique.....	19
4.1.1 Rapide historique.....	19
4.1.2 Les orientations théoriques.....	20
4.1.3 Les travaux sur les conceptions dans la mouvance constructiviste.....	21
4.1.4 Travaux dans la mouvance socio-constructiviste et/ou de la cognition située.....	23
4.2 Les travaux en psychologie	24
5. Conclusions	24
Thème 2 : Évolution des connaissances chez l’apprenant par C. Buty et A. Conuéjols	31
1. Qu’est ce qui évolue ?	31
1.1 Des compétences générales ou des connaissances propres à un domaine spécifique ?	31
1.2. Le courant théorique du changement conceptuel	32
1.3. Cohérence partielle ou totale de fonctionnement cognitif d’un individu	33
1.4. La perspective de l’intelligence artificielle	35
1.5. La cognition située	36
2. Les mécanismes de l’évolution	37
2.1. Le conflit cognitif comme moteur de l’accommodation	38
2.2. Les formes du changement conceptuel.....	38
2.3. Changement d’ontologies.....	38
2.4. L’analogie avec l’évolution des idées scientifiques	39
2.5. Que deviennent les anciennes conceptions ?.....	39
2.6. Changement graduel ou radical ?	40
2.7. Le rôle des analogies	40
2.8. Les conséquences sur les stratégies d’enseignement.....	41
3. Les facteurs de l’évolution.....	41
3.1. Le contact direct de l’individu avec le monde.....	41
3.2. La situation et la didactique.....	41
3.2.1. Construire des situations et des séquences d’enseignement-apprentissage	42

3.2.2. Les hypothèses sous-tendant les recherches et les constructions de situations.....	42
3.3. Les interactions sociales et le langage.....	43
3.4. La problématique vygotkienne appliquée aux interactions scolaires.....	43
3.4.1. Les formes de l'intervention pédagogique.....	44
3.4.2. Fonction institutionnalisante ou fonction dialogique du discours.....	45
3.4.3. L'étayage.....	45
4. Quelques remarques de conclusion	46

Thème 3 : Articulation entre différents types de connaissances par J. Rogalski et L. Veillard..... 51

1. Introduction.....	51
2. Quel découpage, quelle typologie des savoirs ?	52
3. Le rôle du transfert dans les acquisitions.....	53
3.1. Le transfert comme utilisation de connaissances.....	54
3.2. Le transfert comme résultat d'un processus de changement	55
4. Le rôle des connaissances " méta "	55
4.1. Les représentations sur la connaissance scientifique.....	55
4.1.1. L'apprentissage de stratégies.....	55
4.1.2. Les représentations sur les savoirs (<i>epistemological beliefs</i>).....	56
4.2. Représentation de ses connaissances et représentation du processus de l'apprentissage	57
5. Le rôle de la langue et des systèmes de représentation symboliques comme instruments cognitifs dans le développement des savoirs	58
5.1. La langue orale et écrite	59
5.1.1. L'évolution des instruments langagiers depuis l'enfant jusqu'à l'adulte.....	59
5.1.2. La multiplicité des fonctions instrumentales du langage	60
5.2. Les systèmes de représentation symbolique	63
5.2.1. Schémas, diagrammes et graphiques comme outils d'acquisition de connaissances : la tentative d'explication par les mécanismes cognitifs généraux.....	63
5.2.2. La prise en compte des connaissances de l'apprenant, de ses buts et des difficultés liées aux caractéristiques des systèmes de représentation symboliques.....	64
5.2.3. Le cas du dessin technique ou la complexification progressive de l'approche des problèmes de compréhension de représentation graphique.....	66
6. L'articulation des savoirs disciplinaires et des savoirs professionnels	67
6.1. L'articulation <i>intra</i> et <i>inter</i> savoirs disciplinaires.....	68
6.2. Articulation savoirs disciplinaires / savoirs professionnels	69
7. Conclusion	72

Thème 4 : Les situations de formation dans l'enseignement en vue de l'apprentissage du savoir scientifique et mathématique par C. Laborde, M. Coquidé et A. Tiberghien..... 81

1. Introduction.....	81
2. Toile de fond théorique.....	82
2.1. Perspectives des recherches.....	82
2.2. Quelques orientations théoriques des recherches	83
2.2.1. Sur les savoirs.....	83
2.2.2. Sur l'apprentissage	84
3. Problématiques et résultats des Travaux	85

3.1. Construction de dispositifs didactiques de formation et d'apprentissage	85
3.1.1. L'articulation savoir - apprenant	85
3.1.2. Les relations apprenants – enseignant	89
3.1.3. L'articulation savoir - situation	91
3.1.4. Interrelations entre apprenant et artefact	93
3.2. Analyse de dispositifs ordinaires	95
3.2.1. L'articulation savoir – institution	95
3.2.2 Les pratiques des enseignants	96
3.3. Validation des dispositifs didactiques construits	97
4. Mise en perspective	98
4.1. Multiplicité des références dans la construction de dispositifs	98
4.2. Les résultats	98
4.3. Le déplacement des questions de recherche	99
4.4. Interrelations entre les théories de l'apprentissage et les théories de l'enseignement.	99
4.5. Les questions vives qui nous semblent émerger	100
5. Conclusions	101
Conclusion de la synthèse.....	109
Remerciements	111
Liste du groupe restreint.....	111
Liste des experts	112

INTRODUCTION DE LA SYNTHÈSE

Cette synthèse vise à donner un état des connaissances acquises dans différents champs de recherche sur les relations entre les connaissances naïves et les savoirs scientifiques. Au-delà de quelques travaux dont le thème explicite porte sur ces relations, on a cherché à repérer dans la littérature nationale et internationale des apports éventuellement indirects ou des questions qui mériteraient un développement de recherches spécifiques. Les problèmes d'enseignement et d'apprentissage scientifiques sont une toile de fond à cette analyse bibliographique.

Quatre raisons essentielles motivent cette synthèse :

- l'importance d'étudier les connaissances naïves dans la mesure où les connaissances initiales, dont une grande part sont "naïves" pour une majorité d'apprenants, jouent un rôle déterminant dans leur acquisition des savoirs scientifiques ;
- l'intérêt de cerner l'impact de l'enseignement scientifique à l'école non seulement sur les connaissances scientifiques à la sortie du système scolaire mais aussi sur celles mises en œuvre dans la vie quotidienne qu'on appelle connaissances quotidiennes, communes ou naïves ;
- la question de la coexistence inévitable, à tous les âges et quel que soit le niveau scolaire, des connaissances naïves ou quotidiennes et scientifiques ;
- la nécessité de mieux caractériser les conditions qui permettent de développer, chez les apprenants, des savoirs scientifiques en relation avec les savoirs scientifiques et techniques de la société actuelle.

Le terme " naïf " renvoie aussi bien aux connaissances ou savoirs communs ou quotidiens partagés socialement, qu'aux connaissances spontanées mises en œuvre par des individus dans des situations particulières. Par la suite nous utilisons naïfs ou quotidiens sans distinction. De même la différence entre les termes de " connaissances " au pluriel, et " savoir " associé à " scientifique " au singulier, n'est pas débattue. Nous considérons que la connaissance est plutôt associée à un individu, alors que le terme de savoir se rapporte davantage à une institution sociale, mais nous ne faisons pas de distinction radicale dans le texte.

On a choisi de limiter cette synthèse. En ce qui concerne l'étendue des connaissances naïves, seul le monde matériel a été pris en compte, ceci ne préjugant en rien du type de connaissances ; celles-ci peuvent correspondre aussi bien au point de vue de l'enfant qu'à celui du scientifique. Nous n'avons pas abordé les conceptions des enseignants, et plus généralement celles des adultes.

Cependant pour l'aspect lié à l'enseignement, nous avons élargi au cas des mathématiques, du fait d'une théorisation pionnière des procédés didactiques issue des chercheurs français. Cette théorisation est pertinente et productive pour la question des situations visant la formation en sciences expérimentales.

Le positionnement des connaissances naïves par rapport au savoir scientifique est objet de débat et dépend des disciplines. Notons dès maintenant que le statut social des connaissances naïves et des savoirs scientifiques est bien différent. Il y a des sociétés savantes de physique, chimie, biologie, etc., il n'y a pas d'équivalent pour le savoir commun (Schiele, 1984). La création de nouveaux éléments du savoir scientifique se fait explicitement avec des validations expérimentales, théoriques, et sociales par les pairs, il n'existe rien de tel pour le savoir commun.

La dynamique entre connaissances naïves et savoir scientifique est objet de débat et dépend aussi des disciplines. Dans la perspective de l'enseignement scientifique, les connaissances dites naïves d'un enfant vont être antérieures aux connaissances scientifiques qu'il va acquérir à l'école, puis vont coexister avec elles. On peut aussi considérer, comme le font certains anthropologues, que la science est une des sous-cultures d'une culture occidentale, qui est différente des sous-cultures d'autres cultures, africaines, asiatiques, par exemple (Cobern & Aikenhead, 1998 ; Cobern, 2000). En ce sens, il n'y a pas de hiérarchie, ni d'antériorité systématique d'une culture par rapport à une autre. En revanche dans l'histoire des sciences, on peut voir une évolution des savoirs, allant de formes pré-scientifiques jusqu'aux savoirs scientifiques. On peut également évoquer, dès cette introduction, le débat entre deux grands psychologues du siècle dernier, Piaget et Vygotski. Tous les deux distinguent les concepts spontanés, ou encore naïfs, des concepts scientifiques. En revanche, ils divergent sur les développements respectifs des concepts scientifiques et naïfs (Vygotski, 1985). Alors que le premier voit leur développement plutôt en termes d'opposition, de conflit, le deuxième considère que leur développement est de même nature même s'il s'effectue dans des conditions internes et externes différentes.

Du point de vue de la recherche, ce dernier siècle a vu une évolution considérable des cadres théoriques des travaux sur l'apprentissage de savoirs scientifiques. Ainsi les travaux de ces trente dernières années en didactiques des sciences et en psychologie ont mis en évidence des invariants dans les connaissances naïves des

enfants sur le monde matériel. Ces travaux menés internationalement se confortent, et montrent combien certains de ces invariants sont résistants à l'enseignement, même au niveau universitaire. En sciences du langage, l'étude du rôle de la langue pointe l'importance de la maîtrise linguistique aussi bien orale qu'écrite dans l'acquisition des sciences et des techniques et inversement montre qu'une expertise dans un domaine scientifique a un retentissement sur la langue.

Cependant, ces travaux sont insuffisants pour cette synthèse, mais en même temps il n'existe pas d'ensembles relativement bien constitués de corpus disciplinaires sur lesquels il aurait été possible de s'appuyer. De plus, même l'identification de l'ensemble des disciplines qui peuvent y contribuer ne coule pas de source. D'autres disciplines que les didactiques et la psychologie contribuent aussi à cette synthèse, les sciences du langage, l'intelligence artificielle (en particulier l'apprentissage machine) ; l'épistémologie et l'histoire des sciences, l'anthropologie, la sociologie des savoirs y ont contribué de façon plus marginale. Par ailleurs, il faut signaler que nous avons choisi de limiter nos références à des travaux de type plutôt expérimental que philosophique.

Cette synthèse est organisée autour de quatre questions élaborées en prenant en compte **la dynamique** entre connaissances naïves et savoir scientifique, en particulier en considérant l'importance des connaissances préalables dans l'apprentissage, positionnement partagé actuellement par tous les courants de recherche (figure 1). Chaque question conduit à un thème. Le premier présente les travaux relatifs à ces connaissances naïves du bébé à l'adulte. Le second porte sur l'évolution des connaissances chez l'apprenant du point de vue de l'apprentissage des savoirs scientifiques, question encore très ouverte aujourd'hui. Le troisième aborde une question souvent peu étudiée en tant que telle, celle des articulations entre différents types de connaissances. Ainsi le découpage entre types de connaissances ou de savoirs ne peut être pris comme une évidence, c'est ce que montrent en particulier les travaux sur le transfert, ou encore sur la formation professionnelle. Enfin, le dernier thème est plus spécifiquement didactique : il aborde les travaux sur l'enseignement scientifique en se limitant à la question des situations qui visent l'apprentissage des connaissances scientifiques.

Il faut souligner que les questions relatives au langage et aux systèmes de représentations traversent l'ensemble de ces thèmes présentés ci-dessous.

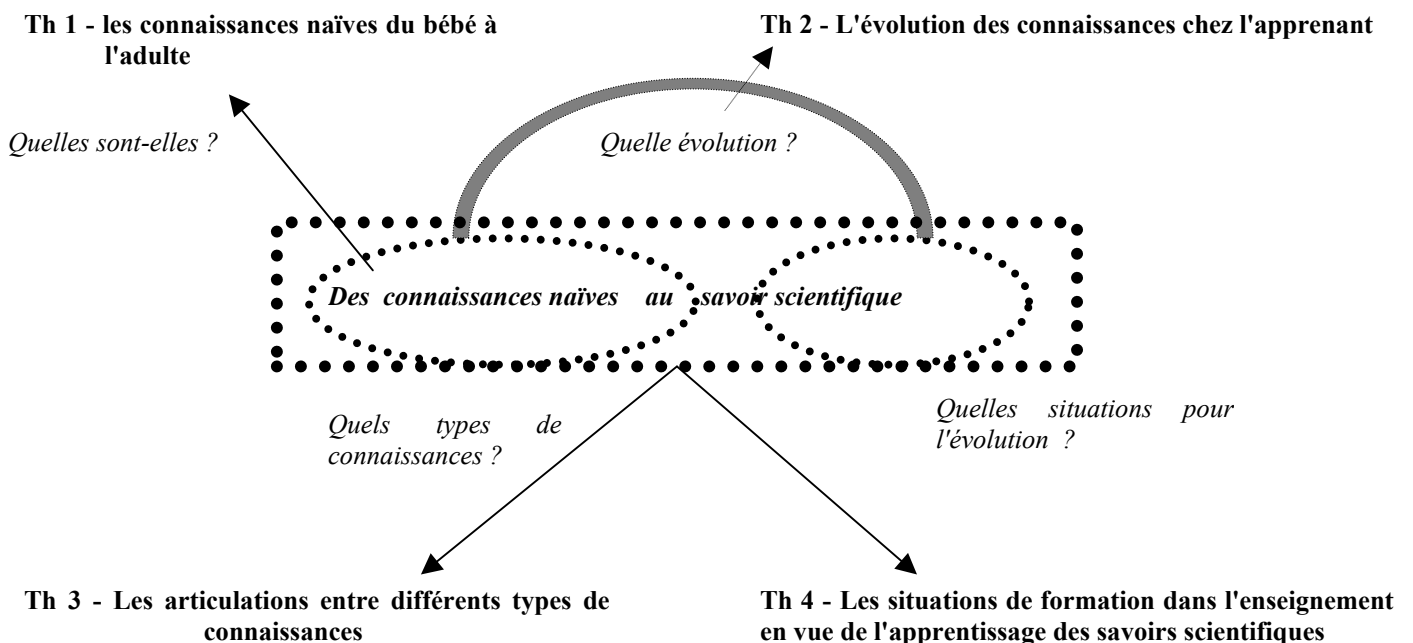


Figure 1 : organisation de la synthèse

THEME 1

CONNAISSANCES “ NAÏVES ”

SUR LE MONDE MATERIEL DU BEBE A L'ADULTE

Françoise Cordier,
Laboratoire Langage et Cognition (LaCo), UMR CNRS, Université de Poitiers

Andrée Tiberghien,
UMR Groupe de Recherche sur les Interactions Communicatives (GRIC), CNRS – Université Lumière Lyon 2

Nous tenons à remercier tous les experts qui ont participé à cette synthèse et plus particulièrement ceux qui ont participé à sa rédaction :

*Arlette Stréri, Professeur de psychologie du développement,
Laboratoire Cognition et Développement, UMR, Université René Descartes Paris 5, Centre Henri Piéron
et*

*Jean-Emmanuel Tyvaert, Professeur de linguistique,
Centre interdisciplinaire de recherches en linguistique et psychologie cognitive, Université de Reims*

1. INTRODUCTION

Quelques précisions terminologiques pour commencer. Les connaissances naïves, comme cela a été évoqué dans l'introduction générale, recouvrent aussi bien les connaissances ou savoirs communs, partagés socialement, que les connaissances spontanées mises en œuvre par des individus dans des situations particulières. Quant au monde matériel il recouvre chez l'enfant le monde du non vivant et du vivant, et pour ce dernier aussi bien animé qu'inanimé. Ce découpage n'est pas seulement pertinent pour le savoir scientifique actuel, il peut aussi être pris pour les connaissances naïves. En effet, il a été montré que toutes les sociétés connues classent les entités en 4 grandes catégories ontologiques : les humains, les animaux, les plantes et les objets inanimés (Atran, 1984). Mais il faut aussi noter que le bébé et le jeune enfant ne structurent pas le monde de la même façon que l'adulte : la principale difficulté que semblent éprouver les jeunes enfants avant l'âge de 6 ans consiste à regrouper ensemble les animaux et les plantes dans le monde du vivant (Inagaki & Hatano, 1987). Par contre, la distinction entre la classe des animaux et des humains d'une part, et celle des objets fabriqués d'autre part, semble maîtrisée au cours des premières années de la vie.

Dans cette synthèse, nous excluons en revanche les connaissances appelées "psychologiques", c'est-à-dire relatives au mental des êtres humains et aux rapports entre eux, à l'interprétation de leur comportement. Ces connaissances sont par ailleurs largement étudiées par les recherches de psychologie cognitive qui couvrent le domaine qu'il est convenu d'appeler "les théories de l'esprit". Il faut signaler simplement que les frontières entre les connaissances relevant du monde matériel et les connaissances relevant du monde de l'esprit peuvent être un peu floues du point de vue du développement de l'enfant. Par exemple, une controverse persiste à l'heure actuelle quant à la présence (Keil, 1994) ou non (Carey, 1995) d'une conceptualisation des phénomènes biologiques distincte de celle des phénomènes physiques et psychologiques : les enfants pré-scolarisés pourraient avoir une théorie biologique naïve non pas autonome, mais qui reposerait sur un système d'explication psychologique et comportemental.

Notre perspective est d'aider à mieux connaître ces connaissances naïves dans la mesure où elles jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage des savoirs scientifiques. Ainsi cette présentation sera plutôt descriptive. Cependant ces descriptions ne peuvent être dissociées des cadres théoriques dans lesquels elles ont été produites. Les connaissances naïves ont été abordées par différentes disciplines (psychologie, didactique, anthropologie principalement) et à l'intérieur de chacune avec des approches variées. De plus elles n'ont pas toujours été étudiées en tant que telles, c'est pourquoi nous avons choisi de présenter les travaux par tranche d'âge. Tout d'abord c'est un repère pratique pour l'éducation, cela permet aussi au sein de chaque tranche d'âge de situer les perspectives théoriques. Nous aurions pu construire une "méta structuration" en présentant le même ensemble de

perspectives théoriques quelle que soit la tranche d'âge, mais ce travail aurait dépassé celui d'une synthèse car il n'existe pas dans la littérature. Ceci conduit à souligner, dès cette introduction, des secteurs pauvres en recherche à l'heure actuelle. Nous avons donc choisi de discuter systématiquement comment les connaissances naïves sont évoquées dans chacun des cadres théoriques abordés et comment elles sont distinguées des connaissances scientifiques.

Le lecteur pourra remarquer que les effets des affects sur l'acquisition des connaissances naïves n'ont pas été évoqués. Nous sommes restés centrés sur les approches cognitivistes, qui ont élaboré l'essentiel de ce que l'on sait actuellement sur les connaissances naïves. Ceci ne revient pas à nier le rôle de la motivation et des affects dans leur acquisition, mais simplement à reconnaître que leur étude est à l'heure actuelle à peine ébauchée.

Les tranches d'âges choisies sont les suivantes :

- les connaissances des bébés (0 - deux ans) ;
- les connaissances de l'enfant (2- 11 ans) ;
- les connaissances de l'adolescent (12 - 18 ans) ;

En ce qui concerne les connaissances de l'adulte, le peu de travaux actuels nous a conduit à les discuter dans la conclusion. Ces travaux ont surtout été réalisés par des psychosociologues et des anthropologues, souvent sans lien avec la perspective d'une culture scientifique.

Ce choix se justifie à plusieurs égards.

Les travaux de recherche ont été réalisés avec des approches plutôt similaires au sein d'une tranche d'âge : le bébé, l'enfant, l'adolescent, et l'adulte. Alors que les psychologues cognitivistes ont beaucoup travaillé du bébé à l'enfant, les didacticiens se sont intéressés aux enfants et aux adolescents. Du fait de la différence du poids des disciplines suivant ces tranches d'âge et bien sûr des possibilités des sujets du bébé à l'adulte, les méthodologies sont variées, et donc les types de résultats.

Du point de vue de l'enseignement, les tranches d'âge, 2-11 et 12-18, correspondent globalement à l'école maternelle et primaire, puis au collège et au lycée.

On peut se demander pourquoi nous avons commencé dès la naissance et non à partir de l'âge de l'école. La raison essentielle est que le fonctionnement cognitif du bébé avant le langage peut éclairer le fonctionnement des connaissances acquises ultérieurement. La tranche d'âge suivante (2-11 ans) est marquée par l'apparition du langage et aussi le fait social majeur de l'entrée à l'école où l'enfant va être assez vite confronté à l'enseignement de concepts scientifiques. Ainsi, à cette période, la question de la dynamique entre connaissances naïves et savoir scientifique se pose et va être traitée différemment suivant les cadres théoriques.

Il faut souligner que, même si nous abordons l'évolution des connaissances, nous le faisons sous l'angle des connaissances naïves et non pas sous celui de l'acquisition des connaissances scientifiques comme dans le thème 2.

2. LES CONNAISSANCES DES BEBES DE 0 A DEUX ANS

Pour cette tranche d'âge, il semble prématuré de parler de connaissances naïves ou scientifiques du bébé, nous préférons considérer plutôt le développement du fonctionnement cognitif, ou comme l'introduisent certains auteurs, celui de l'intelligence. Ce développement est une question très ancienne, avec comme corollaire celle de sa continuité ou discontinuité du bébé à l'adulte. La question de l'intelligence d'un bébé à la naissance a été posée. Les recherches sur le bébé ont établi des formes de représentation et de raisonnement que n'avaient pu mettre en évidence Wallon et Piaget ; pour la raison fondamentale que dans ces théories, les bébés ne se différencient pas de leur environnement et ne sont donc pas définis comme sujet. Actuellement, certains chercheurs pensent que la prise de connaissance de l'environnement peut se faire de manière essentiellement perceptive, sans action motrice sur cet environnement. Ils ne récusent ni le rôle de cette action motrice qui est capital ensuite, ni que le bébé ait besoin de prendre connaissance des possibilités de son propre corps avant d'exercer une action efficace sur l'environnement, mais pour eux cela ne conditionne pas complètement l'intelligence des bébés. C'est ainsi que Lécuyer (1989) parle d'intelligence perceptive avant l'intelligence sensori-motrice et considère une certaine continuité entre elles. Le bébé a deux manières d'acquérir des connaissances du monde physique, par ses actions et par ses perceptions. On a pendant longtemps insisté sur l'action comme principal et unique mode d'interaction du bébé avec le monde, les recherches actuelles nuancent cette position. Ces deux moyens d'accès à la connaissance ne sont pas incompatibles ni utilisés au même moment et avec la même efficacité par le bébé. Leurs interactions sont actuellement envisagées dans certaines situations. Il semble cependant qu'une connaissance acquise par la perception ne soit pas suffisante pour entraîner une conduite correcte par le bébé (cf. le problème de la permanence de l'objet).

L'étude du fonctionnement cognitif des bébés a vu une révolution dans les années 60 du fait d'une nouvelle méthodologie d'investigation. Ces travaux sont réalisés par une communauté scientifique assez bien circonscrite, une des expertes consultées A. Streri a contribué largement à ce texte (Hatwell, Streri & Gentaz, 2000 ; Lécuyer, Streri & Pêcheux, 1996).

Les travaux expérimentaux, au sens où des situations standardisées ont été utilisées, pour comprendre le fonctionnement cognitif des bébés, ont débuté récemment, dans les années 60. Ces travaux mobilisent "deux comportements naturels du nourrisson : il se familiarise avec la situation ou s'habitue, c'est-à-dire il porte de moins en moins d'intérêt aux objets connus de lui ; il réagit à ce qui est nouveau en explorant plus longuement ce qu'il ne connaît pas" (Streri, 2000, p. 63). Cela conduit les chercheurs à présenter aux bébés des situations dans lesquelles la même stimulation, visuelle ou tactile par exemple, est présentée plusieurs fois de suite, afin que l'enfant s'habitue. Quand il est habitué, on lui présente une stimulation nouvelle. Si ses temps de regard ou de tenue augmentent on en conclut qu'il a fait la différence entre les deux stimulations successives (Streri & Lécuyer, 1999)¹. La question des connaissances du bébé s'est posée principalement à partir de celle sur l'apprentissage. La plupart des travaux de psychologie, en particulier Piaget, antérieurs à ces recherches sur les bébés, insistent sur le rôle dans l'apprentissage des actions d'un être humain sur son environnement. Or durant les premiers mois de la vie, les bébés ne peuvent pas coordonner leur œil et leur main et ainsi n'ont pas d'action efficace sur leur environnement matériel, et on peut se demander ce qu'ils peuvent apprendre. Or ils peuvent apprendre beaucoup de choses comme l'ont montré de nombreux travaux². Nous présentons ici les points essentiels pour ce qui concerne les connaissances naïves sur le monde matériel.

Prenons d'abord le "découpage du monde". Les nouveau-nés ont déjà une forme d'organisation minimale au sens où ils reconnaissent l'identique et le différent "puisqu'ils regardent de moins en moins longtemps ce qui leur est familier et plus longtemps quelque chose de nouveau de même pour des objets sonores. Quelle que soit la modalité sensorielle étudiée, ", les psychologues ont mis en évidence la capacité des nouveau-nés à détecter des régularités dans le monde physique. Le bébé ne vit pas dans un chaos ou avec des tableaux sensoriels sans lien, il perçoit un monde stable, ce qui va lui permettre de se développer avec plus d'efficacité en dépit de son immaturité neuronale. De plus, bébé reconnaît les situations déjà vues, il possède donc une mémoire et des représentations. Une représentation des propriétés du monde physique existe dès le début de la vie, elle est une donnée première et non plus un but comme dans la théorie de Piaget. Elle se réalise en grande partie par la perception et non plus exclusivement par l'action (Streri, & Lécuyer, 1999). La catégorisation perceptive (Edelman, 1987) réfère au processus par lequel les organismes reconnaissent différents objets et leurs relations comme membres d'une même classe ou catégorie basée sur une représentation internalisée de la catégorie. Vers 3/4 mois, les bébés construisent des catégories de formes géométriques, construisent aussi des prototypes (catégorisation de figures géométriques, de classes d'objets, catégorisation de relations spatiales, prototype de visages humains) (Lécuyer, Streri Pêcheux, 1996).

En ce qui concerne l'espace, dès 3 mois, les enfants identifient un objet tri-dimensionnel comme un tout en le distinguant du fond uniforme contre lequel il est situé (Carey et Spelke, 1994). Selon le principe de cohésion, si cet objet est déplacé, les bébés seront surpris s'il est scindé en deux et qu'une partie seulement bouge. Si maintenant on considère la perception de l'unité d'un objet dont les extrémités sont visibles mais dont le centre est caché, les bébés de 4 mois perçoivent cet objet comme un corps connecté à la condition qu'il soit en mouvement derrière le cache immobile. Tous les mouvements ne sont pas pertinents. Les mouvements de translation, en profondeur, par exemple, sont efficaces pour une perception de l'unité de l'objet à 4 mois, mais non les mouvements de rotation. Si l'objet et le cache bougent ensemble, l'unité de l'objet n'est plus perçue (Kellman & Spelke, 1983). D'une manière générale, le bébé identifie les objets à partir du mouvement, véritable primitive de l'organisation perceptive. Il s'agit également d'un mécanisme amodal partagé par plusieurs modalités sensorielles.

La causalité physique au sens où une cause produit un effet, la cause étant antérieure à l'effet, est encore un domaine de recherche qui donne lieu à des débats. Elle est illustrée dans les expériences par la situation du

¹ Plus précisément (Streri, 2000, p.63-64) : l'expérience se déroule en deux étapes successives : (1) une étape de familiarisation au cours de laquelle le bébé explore l'objet dans une modalité. Pendant cette phase, il doit prélever des informations sur les propriétés de l'objet et les maintenir en mémoire. C'est la phase d'encodage. (2) Une seconde étape de reconnaissance ou de décodage dans l'autre modalité, au cours de laquelle on présente au bébé l'objet supposé familier, et un objet nouveau, qui diffère du premier par une propriété, en général la forme.

² Nous n'aborderons pas ici la question de l'inné et de l'acquis

“ billard ” (une balle en mouvement entre en collision avec une autre balle d'une couleur différente. La première stoppe sa course tandis que la seconde se met en mouvement. Si le contact n'a pas lieu ou si la seconde balle part avec quelques secondes de retard, la perception de la causalité ne se réalise plus. Ce type de situation a donné lieu à de nombreuses expériences chez le bébé. 1) Elle est perçue dès l'âge de 3 mois. Mais la compréhension du principe de contact est inférée par le bébé de 6/7 mois, lorsque la situation se déroule derrière un cache. Si après habituation à un événement causal (le bébé ne voit pas le contact entre les deux balles, mais voit une première balle se mouvoir et une seconde différente en sortir), on lui présente, sans cache, la même situation possible (les deux balles se contactent) ou impossible (la seconde balle se déplace alors qu'il n'y a pas eu contact avec la première), le bébé regarde plus longtemps la situation impossible que possible. 2) Il faut attendre l'âge de 10 mois pour que la distinction entre événements causaux et non causaux, avec des objets complexes "réalistes" comme des voitures ou des animaux soit réalisée. Vraisemblablement les bébés sont attirés vers des traits spécifiques des objets et semblent moins intéressés par la relation causale. 3) La distinction agent-patient est testée en inversant la situation causale, c'est-à-dire l'agent devient le patient et vice-versa. Les bébés âgés de 61/2 – 7 mois sont sensibles à l'inversion dans le cas de situations causales où des objets simples sont utilisés, moins dans le cas de situations non causales avec des objets complexes. Il faut attendre l'âge de 14 mois pour qu'une telle réaction apparaisse avec des objets réalistes. Cela signifie que les bébés comprennent la distinction agent-patient dans sa version perceptive la plus simple dès le second semestre de vie (cf. Cohen, Amsel, Redford & Casalosa, 1998)

La question de la structuration des connaissances est aussi d'actualité. Certains auteurs (Carey & Spelke, 1994) suggèrent que, chez les bébés, "perception et raisonnement sont guidés par un seul système de connaissances dans au moins trois domaines : physique³, psychologie, et nombre" (p. 171). La mention des deux premiers domaines : physique et psychologie, renvoie à la controverse signalée dans l'introduction sur le moment assez tardif où la biologie va se trouver disposer d'une place autonome au sein des connaissances naïves. La position de Carey & Spelke de mettre le nombre sur le même plan que physique et psychologie est discutée en particulier sur la distinction petite numérosité/grande numérosité. Le bébé tout comme l'adulte peut appréhender jusqu'à 4 éléments et non au-delà. En ce qui concerne les grands nombres, la différenciation entre deux ensembles se fait selon la loi de Weber. Depuis 1994, ces auteurs ont dû affiner leur conception. Le nombre relève d'un domaine particulier, notamment pour les petits ensembles.

Ainsi, dans la perspective de cette synthèse, il ressort de ces travaux que la perception est un puissant vecteur de construction des connaissances, dès la naissance. Le monde matériel n'est pas chaotique pour les bébés, la découverte d'invariants est très précoce, et une catégorisation perceptive se met en place. Il reste une question ouverte actuellement : quels sont les rôles de la perception et de l'action et leur articulation respective dans la construction d'une connaissance naïve, en particulier dans la construction d'une interprétation ou d'une explication du monde ? L'intérêt de cette question se trouve redoublé lorsqu'elle est posée dans la perspective d'une évolution entre connaissances naïves et savoir scientifique.

3. LES CONNAISSANCES DE L'ENFANT (2 - 11 ANS)

Dans cette tranche d'âge, la variété des travaux qui peuvent informer sur les connaissances naïves est bien plus grande que pour la tranche d'âge précédente. Les travaux pour les enfants de 2 à 11 ans sont majoritairement menés par des psychologues même si des didacticiens ont travaillé avec des enfants du primaire et un peu avec ceux de la maternelle.

Le positionnement par rapport aux connaissances naïves va être différent selon les disciplines et les cadres théoriques. Ceci nous a conduit à présenter les travaux selon les disciplines. Ainsi, les aspects langagiers sont présentés en premier à partir de travaux essentiellement en psycho-linguistique et sciences du langage. Un éclairage sur cette tranche d'âge du point de vue de la langue est important à avoir en tête pour la suite, car l'outil langagier sous-tend toutes les activités de l'enfant. Les travaux menés en psychologie du développement et en didactique sont présentés ensuite.

Pour préciser ces positionnements, nous avons distingué cinq orientations.

- L'étude se fait sur les connaissances ou le développement cognitif sans prendre explicitement en compte la nature des connaissances naïves ou scientifiques ; c'est le cas en particulier des travaux étudiant le langage, l'expansion du vocabulaire, du réseau sémantique sous-jacent et la maîtrise de la langue.

³ Le terme physique signifie ici qu'il s'agit du monde matériel inanimé

- La distinction est posée en termes de hiérarchisation des savoirs dans la mouvance piagétienne, les connaissances naïves se développent vers les savoirs scientifiques (développement de la pensée logique). Dans cette perspective, les connaissances naïves sont essentielles en tant que connaissances préalables et sont ensuite marginalisées.
- Il y a une dialectique entre connaissances naïves et scientifiques. Ainsi, dans la lignée de Vygostki, il ne s'agit pas d'éradiquer les connaissances naïves, mais les deux types vont se développer et peuvent interagir.
- Les connaissances sont vues au sein de champs de pratiques dans la cognition située, il n'y a pas de connaissances naïves ou scientifiques, mais des champs de pratiques différents, on peut alors considérer des pratiques quotidiennes, professionnelles, scientifiques.
- Les connaissances naïves sont étudiées dans le cadre de l'évolution des élèves avec l'enseignement scientifique ou du fonctionnement de la classe au cours de l'enseignement ; la perspective est didactique et de ce fait les cadres théoriques prennent en compte l'enseignement. Nous les regroupons, même si, du point de vue de l'évolution des connaissances, certains des travaux rejoignent l'une ou l'autre des orientations précédentes.

3.1 Les travaux sur les connaissances langagières relatives au monde matériel

Les travaux présentés relèvent essentiellement de la psycholinguistique et des sciences du langage, ils prennent la mesure des relations entre langage et représentation du monde matériel, le mot est alors l'aspect essentiel.

Le début de cette tranche d'âge (2 à 6 ans) correspond à un bouleversement par rapport aux âges précédents dû à l'acquisition du langage, qui prend une place essentielle dans la vie cognitive. Le langage (explosion langagière à 18 mois en moyenne) est déjà prometteur à deux ans. On peut considérer que le réseau des significations liées au langage qui s'établit en mémoire à long terme ouvre à l'individu des potentialités énormes dans le domaine de l'acquisition des connaissances quelles qu'elles soient. Soulignons que du côté des facteurs langagiers, l'expansion du vocabulaire, du réseau sémantique sous-jacent et la maîtrise de la langue ne peuvent être considérées comme terminées à la fin de la maternelle, nous en prenons pour preuve l'existence de manuels qui se focalisent sur ce point pour l'école primaire (Ters, Mayer & Reichenbach, 1969) et les travaux de recherche qui se centrent sur les effets de l'âge d'acquisition des mots (AAM) sur les tâches de nature sémantique (Brysbaert, Van Wijnendaele & De Deyne, 2000; Nazir, Decoppet & Aghabadian, 2000), ou plus généralement sur la lecture ou l'orthographe. Il faut également signaler que, si l'on a des publications en nombre sur l'évolution de la signification des noms d'objets (cf. Cordier, 1994), on a peu de travaux sur celle des adjectifs et des verbes.

Avant d'aborder les recherches sur cette période, il nous semble nécessaire d'introduire cette partie par quelques observations générales sur les liens entre acquisition des connaissances et langage. Les connaissances naïves sur le monde se façonnent progressivement au fur et à mesure des expériences de l'enfant qui intègrent l'appréhension des commentaires concomitants des adultes : on vise ici l'expérience elle-même et la manière dont on en parle autour de l'enfant. Les connaissances naïves passent donc par l'expérience (directe ou non : le livre, la TV), et son évocation par le langage. C'est du langage courant dont il est question ici. La transmission de connaissances d'ordre scientifique va utiliser le même vecteur langagier, alors que le langage scientifique n'utilise pas les mêmes registres que le langage usuel. Le fait que le registre quotidien - qui voit se cristalliser les connaissances naïves - et le registre restreint du discours scientifique emploient les mêmes mots va entraîner de multiples difficultés : mauvaises interprétations du discours de l'expert, incompréhensions, et de façon générale des décalages entre ce qui est impliqué dans le discours de l'expert, et ce qui peut en être effectivement compris par l'enfant. Ces difficultés sont aussi présentes dans l'enseignement. Les termes ne prennent pas d'emblée, au sein d'une classe, une signification pertinente pour les buts de l'acquisition du fait que l'usage scientifique a peu à voir avec l'usage courant.

Les mots du lexique courant sont par nature polysémiques. L'emploi d'un même mot en discours courant vs en discours scientifique induit des difficultés de communication et de représentation (exemple des chromosomes localisés dans le noyau des cellules et de la question "où sont les chromosomes (dans une pêche, ou un autre fruit à noyau ?)"). Le mot peut se révéler être un piège en lançant un processus inférentiel par non respect de la réduction liée à la définition scientifique (exemple de la réponse à la question supra: les chromosomes sont dans le noyau de la pêche). Si la langue est un vecteur essentiel dans l'acquisition de connaissances, il faut reconnaître un effet pervers de la langue qui a ses propres limites.

Plus généralement, l'utilisation d'un nom va introduire à un certain type de description. Si c'est une facette du nom qui pose problème pour son usage scientifique, il faut la réaménager : cela implique une sorte de

microchirurgie du langage, un réaménagement de la signification des mots pour en retravailler des facettes. L'utilisation des connecteurs (le *si* du langage courant, qui traduit une équivalence en fonction de "l'inférence invitée" bien connue des pragmaticiens et le *si* d'implication utilisé dans le discours hypothético-déductif des scientifiques) semble encore plus difficile à maîtriser que les noms.

Le réseau des termes langagiers ne recouvre pas de façon homogène le réseau des concepts : dans certains domaines, la ressource lexicale peut être très riche, alors que dans d'autres, le maillage est plus lacunaire, ce qui conduit à des difficultés pour traduire une organisation conceptuelle sous-jacente (ces "lacunes" touchent d'ailleurs des endroits différents du réseau lexical selon les langues). Par exemple, l'élaboration chez les enfants des connaissances centrées autour de ce qui vit est un moment important. Or, la catégorie des êtres vivants n'est pas fixée par un nom dans le lexique, comme peuvent l'être d'autres catégories (les animaux, les arbres), il faut recourir à une expression. Dans un autre ordre d'idées, l'adjectif *vivant* n'est lui-même pas aussi fréquemment associé aux végétaux qu'aux animaux. Nous voyons là que le lexique existant peut, de par son organisation, entraver la généralisation des connaissances. Soulignons ici qu'il manque à l'heure actuelle de bases de données très larges pour être en mesure d'estimer précisément tous ces effets langagiers (quelque chose qui serait équivalent à LSA (Boulder University) aux Etats-Unis. Il faut encourager les travaux qui visent à construire une base de données de cette sorte pour le français.

D'autres difficultés liées au langage peuvent être évoquées : les problèmes liés à la résolution anaphorique (Komisarjevsky Tyler, 1983; Vion & Colas, 1998) et la compréhension des métaphores (Lakoff & Johnson, 1980). Il semble que les expériences du corps dans son environnement donnent sens aux premières métaphores. Les recherches ont mis en évidence qu'il existe différents niveaux de compréhension des métaphores, et que ceci est affaire de connaissances. Côté production, les métaphores sont parties constituantes du langage. Il ne s'agit pas seulement de figures de styles, mais de l'expression langagière même : le lexique est pauvre, utiliser des métaphores est une nécessité. C'est un besoin autant linguistique que socio-cognitif. L'utilisation de métaphores conduit à des réorganisations conceptuelles. Plusieurs travaux montrent que la compréhension du langage métaphorique est très progressive, et relativement tardive (Franquart-Declercq & Gineste, 2001).

Pour conclure, il est nécessaire de parvenir à un ajustement de l'utilisation de la langue, correspondant au registre usuel, pour parvenir à un emploi adéquat de la langue dans le registre scientifique. Cet ajustement comprend la monosémisation des items lexicaux et la réduction de l'univocité des marquages syntaxiques nécessaires à la mise en œuvre d'un "compositionnalisme" combinatoire indispensable à l'élaboration hypothético-déductive.

3.2 Les apports des recherches en psychologie

Par rapport à la tranche d'âge des bébés, les approches en psychologie sont beaucoup plus variées théoriquement et méthodologiquement. On a bien sûr à distinguer performance et intelligence, développement cognitif ou aptitudes selon les cadres théoriques. "Le problème se pose d'abord en termes de capacités et d'aptitudes, selon la distinction due à Henri Piéron. .. Les premières désignent ce qu'un individu sait ou peut faire, à un moment donné.... Les aptitudes, par contraste ne sont pas observables [...] on ne peut conclure, en la matière, à des différences interindividuelles résistant à l'apprentissage qu'avec la plus extrême prudence [...] il existe des aptitudes générales dont l'étude se poursuit, comme l'aptitude très précoce du bébé - déjà intra-utérine - à identifier des sons de la langue, celle à porter son attention sur des stimulus visuels changeants et à les différencier, celle à percevoir des visages, à former des catégories, à acquérir le langage, puis des connaissances très diverses. Toutes ces aptitudes sont en même temps des potentialités d'apprentissage". Par ailleurs "la recherche montre qu'il existe un ordre des acquisitions, aussi bien motrices que motivationnelles et cognitives" : celles-ci "concernent les capacités de traitement de l'information, les contenus et la structure des représentations. [...] il est indéniable qu'un certain ordre des acquisitions est constant entre les individus, bien qu'il s'actualise chez eux à des âges différents et avec beaucoup de variations interindividuelles" (Le Ny, à paraître).

Cette longue citation de Le Ny nous introduit à présenter les travaux qui informent sur les connaissances naïves selon deux perspectives sur le développement. La première présente les travaux du point de vue des perspectives de Piaget et de Vygotski et la deuxième partie prend le point de vue des modèles généralistes ou par domaine.

3.2.1 Les approches structurales du développement dans les lignées de Piaget et Vygotski

3.2.1.1 Les approches dans la lignée piagétienne

Les théories structurales se fondent sur l'hypothèse de la présence de changements qualitatifs, de ruptures, au cours du développement. Elles ont été dominantes pendant plusieurs décennies, surtout en Europe. Le vecteur du développement y est expliqué par une adaptation de l'enfant à l'environnement social (Wallon) ou physique (Piaget), adaptation orientée vers un état stable (l'adulte) qui sert de point de référence. Pour la psychologie génétique piagétienne, l'insistance est mise sur les structures opératoires qui procèdent de l'action et aboutissent à l'action et sur l'activité réorganisatrice du sujet. Le développement consiste dans la substitution d'un type de structuration à un autre type, par le jeu de processus dynamiques que sont l'équilibration (accommodation au réel et assimilation du réel), l'abstraction réfléchissante, la généralisation [...] L'objectif de la psychologie piagétienne est ainsi "l'étude de l'adaptation humaine à long terme [...] par transformation épistémique de l'action en connaissance - connaissance de type logico-mathématique" (Bideaud & Houdé, 1991). Ici la citation est explicite sur le type de connaissances étudiées, il s'agit des structures logico-mathématiques dont l'architecture opératoire a été analysée finement par les travaux de l'école de Genève dans la description des stades sensori-moteur, pré-opératoire, opératoire concret puis formel. De plus, la référence pour l'analyse des connaissances des sujets est celle des structures logico-mathématiques complètes, on pourrait dire celles de l'adulte expert, l'adaptation étant orientée vers un état stable celui de l'adulte. Cependant, comme cela a été présenté précédemment, de nombreux travaux de cette école ont aussi apporté des informations précieuses sur les connaissances spécifiques même si ce n'était pas leur objectif premier.

Plus récemment, il faut voir dans l'éclosion des théories néo-structuralistes (parmi lesquelles Case, Pascual-Leone, Karmiloff-Smith; cf. Bideaud, 1999) des tentatives pour concilier une visée structurale et une prise en compte fine du champ des représentations. Cette prise en compte explicite des connaissances spécifiques en relation avec les architectures vise à rendre compte à la fois des changements développementaux sur le long et le court terme, et de la variabilité des compétences, omniprésente dans le développement cognitif. Dans ces recherches, la référence choisie pour analyser les connaissances et leurs structures sont celles de l'adulte accompli. L'ensemble de ces travaux se situe dans la deuxième des orientations proposées relatives au positionnement des cadres théoriques sur les connaissances naïves, l'adulte accompli est celui qui a acquis les connaissances scientifiques étudiées.

3.2.1.2 Les approches dans la mouvance de Vygotski

Vygotski a explicitement discuté des concepts scientifiques et quotidiens. Il a critiqué Piaget à propos du développement des concepts scientifiques en comparaison à celui des concepts quotidiens (Vygotski, 1985). Vygotski considère que pour Piaget "la forme de pensée enfantine est, dès l'origine, opposée aux formes de la pensée mûre. Les uns ne naissent pas des autres mais excluent les autres. [...] Entre les uns et les autres les seuls rapports possibles sont l'antagonisme incessant, permanent, le conflit et l'éviction des uns par les autres" (p. 219). En revanche, pour Vygotski, "le développement des concepts spontanés et celui des concepts scientifiques, sont, nous devons le présumer, des processus étroitement liés qui exercent l'un sur l'autre une influence constante (p. 221). Ainsi Vygotski voit le développement de ces deux types de concepts qui "tout en s'effectuant dans des conditions internes et externes différentes, n'en n'a pas moins une nature unique et ne consiste pas en une lutte, un conflit et un antagonisme entre deux formes de pensée qui dès le début s'excluraient mutuellement" (p. 222). Il faut reconnaître que cet aspect de l'œuvre de Vygotski a été peu développé, la question des développements respectifs des concepts spontanés, ou connaissances naïves, et savoir scientifique et de leur relation est importante pour une meilleure connaissance de l'apprentissage, cependant mais à l'heure actuelle elle reste très ouverte (voir le thème 3 sur l'articulation des savoirs pour une discussion sur ce point).

3.2.2 Des modèles généralistes de développement à ceux par domaines

Cette perspective conduit à considérer deux systèmes explicatifs (bien que non mutuellement exclusifs) pour rendre compte du développement cognitif de l'enfant.

En paraphrasant Goswami (1997), le premier de ces systèmes est basé sur l'idée que le développement cognitif est applicable de façon générale à toute la cognition. Il peut s'agir de représentations qui sont aux fondements de secteurs plus spécifiques (Karmiloff-Smith, 1994) : par exemple, la capacité à faire des inférences déductives sous-tend la causalité intentionnelle, la causalité événementielle, le développement des catégories ontologiques. Ou encore, l'étude de l'habileté à catégoriser est transversale à tous les domaines de connaissances. Dans les recherches qui concernent la catégorisation des objets, il apparaît que dès la deuxième année, les enfants peuvent faire consciemment des regroupements d'objets, et qu'une organisation de type conceptuel se met en place. Les recherches dans le domaine de la catégorisation ont montré que les enfants scolarisés en maternelle sont capables d'organiser des objets de plusieurs manières (par catégories, ou selon des scripts) selon la consigne, la tâche, le matériel. La nature des regroupements semble liée aussi, tout au moins au départ, à la richesse de leur lexique : à

deux ans, un enfant qui possède plus de mots dans son lexique fait en probabilité plus de regroupements catégoriels. Jusqu'à 8 ans, les regroupements de nature catégorielle sont caractérisés par la présence (relativement rare) de sur-extensions (une dénomination est appliquée à un élément n'appartenant pas à la catégorie) et la présence (très fréquente) de sous-extensions (une dénomination n'est appliquée qu'à un sous-ensemble des éléments appartenant à la catégorie). Seuls sont dénommés à un niveau abstrait les éléments les plus caractéristiques d'une catégorie, les autres recevant uniquement une dénomination spécifique (par exemple un merle sera dénommé à la fois comme merle et comme oiseau ; une poule sera dénommée uniquement comme poule). Le rôle du langage est critique pour faire une catégorisation à un niveau abstrait (désigner deux objets différents - un merle et une poule - par le même mot - oiseau - invite l'enfant à porter attention aux ressemblances, qui ne sont pas forcément évidentes). Les dénominations spontanées des adultes ne vont pas dans ce sens (White, 1982). La question de ce qui se passe à l'école reste ouverte.

Pour le second système, le développement d'une habileté survient à des moments différents pour différents domaines. Il est spécifique au domaine. Ces derniers sont conçus comme des ensembles de représentations qui sous-tendent des champs spécifiques de connaissances (connaissances physiques, connaissances biologiques, connaissances de l'ordre du psychologique). A chacun de ces domaines correspondent des théories naïves, c'est-à-dire des systèmes de connaissances et de croyances qui vont rendre compte d'un ensemble de phénomènes appartenant au domaine et des lois qui les régissent. Pour Hirshfeld & Gelman (1994), "la 'spécificité du domaine' est l'idée que tous les concepts ne sont pas égaux, et que la structure de connaissances diffèrent de nombreuses manières d'un secteur à un autre⁴ (p.xiii)", mais l'état des connaissances diffèrent aussi à l'intérieur même d'un secteur. Par exemple, dans le domaine du biologique, les concepts spécifiques aux humains et animaux se mettent en place beaucoup plus rapidement que ceux qui ont trait aux plantes.

Ces études ont été menées dans le cadre de comparaisons ontologiques entre catégories, dont l'illustration expérimentale la plus fréquente est l'opposition entre catégories d'objets naturels et catégories d'objets fabriqués. Les premières, possédant des réseaux denses de propriétés en interrelations, permettraient de baser de nouvelles inférences. Les enfants croient que les objets naturels ont une "essence" qui leur permet de garder leur identité au travers de transformations diverses (Keil, 1986, 1988), alors que les objets fabriqués perdent leur identité après transformation. Dans cet ensemble, la question des ontologies va être très importante (Carey, 1985; Coley, 1995; Gelman, 1988; Gelman & Wellman, 1991). Gutheil, Vera & Keil, 1998; Springer & Keil, 1991). Cette question se pose en terme d'un essentialisme psychologique, c'est-à-dire l'hypothèse que les individus croient que les entités naturelles possèdent une essence même s'ils sont incapables de l'expliquer (Medin & Ortony, 1989). Cette idée d'un essentialisme psychologique se trouve néanmoins en discussion (Braisby, Franks & Hampton, 1996). Il faut aussi souligner que quelques philosophes se sont penchés sur la nature des théories naïves dans le courant des sciences cognitives (Stevens, 2000).

Il faut noter que, dans le cadre de la catégorisation ontologique, la connaissance des objets naturels non vivants (roches, etc...) n'a pas été réellement abordée à ce jour.

Les modèles généralistes et par domaine ne sont pas mutuellement exclusifs. Par exemple, si l'habileté à faire des inférences déductives est transversale aux domaines de connaissance, l'utilisation de telle ou telle sorte de raisonnement peut être propre à un domaine donné, ne serait-ce que parce que les enfants doivent avoir besoin de connaissances suffisantes pour pouvoir utiliser, appliquer, leurs compétences pour le raisonnement déductif dans les différents domaines. De plus, dans ces deux perspectives, les connaissances naïves se trouvent circonscrites comme des connaissances/croyances qui sont acquises à partir des expériences de l'enfant dans son environnement. Les recherches en psychologie cognitive se donnent pour but de les caractériser, dans leur nature et leur organisation, et d'en déterminer la richesse. Il ne s'agit pas de les approcher comme des écarts (en creux) par rapport aux connaissances scientifiques, et par là caractériser les enfants. Les domaines de connaissance sont plus qu'une collection empirique de relations, ils sont aussi des tentatives d'explication, et forment un cadre pour poser de nouvelles hypothèses. Les apprentissages quotidiens se font dans des conditions culturelles bien précises qui permettent, par la pratique et le langage, une intériorisation des connaissances accumulées au sein du groupe social (Hatano, 1990).

D'autres types de travaux ont été menés sur des domaines spécifiques. À titre d'exemple nous mentionnons deux recherches. L'une sur le mouvement (Ogborn & Bliss, 1990) qui vise à expliciter les primitives à partir desquelles, dès le jeune âge, l'enfant construit des interprétations du mouvement. L'autre est sur le cycle jour/nuit (Vosniadou & Brewer, 1994) où un positionnement théorique sur l'organisation des connaissances et leur évolution est présenté.

⁴ "Domain specificity" is the idea that all concepts are not equal, and that the structure of knowledge is different in important ways across distinct content areas" (p. xiii)

Toutes ces recherches ont ainsi apporté des informations en particulier sur les cadres théoriques qu'auraient les enfants pour chacun des domaines en liens avec les catégories ontologiques et la causalité. Les points essentiels qui les distinguent des travaux relevant des approches structurales consistent d'une part en une vision du développement qui met l'accent sur une continuité des stratégies d'acquisition et des contenus de connaissance et non plus sur des ruptures qualitatives fortes en termes de stades et d'autre part dans les références choisies pour analyser les connaissances des sujets. Ce n'est plus la connaissance experte (au sens large) de l'adulte, comme l'ensemble des structures logico-mathématiques, mais la *cohérence* des sujets par domaine qui va permettre de reconstruire un cadre théorique hypothétique, ce qui n'exclut pas une comparaison avec l'adulte.

La distinction entre connaissances naïves et scientifiques n'est pas au cœur des problématiques de ces recherches, bien que l'on puisse en tirer indirectement des informations très intéressantes.

3.3 Des travaux en psychologie aux travaux en didactique : la question des connaissances spécifiques et transversales

Nous présentons ci-dessous un travail de synthèse fait Metz (1995, 1997, 1998) qui, à partir des recherches d'orientation piagétienne, discute des positions souvent répandues dans le monde des concepteurs de projets d'enseignement, au niveau de l'enseignement primaire, proches de la recherche.

Metz (1995) part de trois questions :

- les processus d'investigation scientifique d'ordre et de classement sont-ils le noyau dur des processus des jeunes enfants ?
- en quel sens les enfants sont-ils des "penseurs concrets" ?
- dans quelle mesure les jeunes enfants sont-ils des expérimentateurs ?

D'après Metz (1997) les hypothèses souvent partagées par les concepteurs de projets d'enseignement au niveau de l'école primaire, sont⁵ :

"(1) la sériation et la classification constituent le noyau dur des tendances intellectuelles "strengths" (à voir pour la traduction) des élèves de l'école élémentaire. En conséquence, l'observation, le classement, la catégorisation, et les inférences et communications correspondantes sont des objectifs scientifiques appropriés à l'enseignement scientifique des enfants.

(2) Les enfants de l'école élémentaire peuvent comprendre seulement des idées qui sont en relation avec des objets concrets, car ces élèves sont des "penseurs concrets". En conséquence, les éducateurs doivent restreindre la science des enfants à des activités de manipulation et reléguer les idées abstraites à des niveaux ultérieurs.

(3) Ce n'est pas avant l'adolescence que les enfants peuvent comprendre la logique de contrôle expérimental et de l'inférence. En conséquence, les éducateurs devraient reporter à un âge plus avancé les investigations scientifiques, c'est-à-dire la conception et de la mise en œuvre des expériences et la production de résultats complexes nécessitant des inférences. (p.151-152).

Metz montre à partir des travaux de Piaget et de nombreux autres travaux ultérieurs que ces hypothèses sous-estiment grandement les capacités des enfants⁶ pour chacun de ces points. Elle insiste sur le fait qu'il faut être très vigilant sur la distinction entre le peu de connaissances des enfants sur un domaine et le faible développement de leurs processus cognitifs. En effet pour tous les êtres humains, les capacités de raisonnement sont toujours liées aux connaissances du domaine sur lequel ces capacités sont mises en œuvre (cette position est très largement partagée par la majorité des chercheurs). Les recherches qui comparent les performances des enfants, experts dans un domaine, avec des adultes, non experts dans ce domaine, montrent l'importance fondamentale des connaissances spécifiques dans le développement du raisonnement scientifique. Comme le souligne Carey (1985) [cité par Metz], il est nécessaire de prendre en compte que "les enfants sont novices dans presque tous les domaines dans lesquels les adultes sont experts" (p.514). Un autre argument est que la littérature portant sur le développement cognitif des enfants d'âge préscolaire met à jour de plus grandes compétences que

⁵ En anglais : (1) Seriation and classification constitute the core intellectual strengths elementary school children. Therefore, observation, ordering, la categorization, and corresponding inferences and communications are appropriate scientific objectives for children's science instruction. (2) Elementary school children can comprehend only ideas that are linked to concrete objects, as they are "concrete thinkers". Therefore, educators should restrict science to hands-on activities and relegate the abstract ideas to later grades. (3) Not until adolescence do children grasp the logic of experimental control and inference. Therefore, educators should postpone scientific investigations, in the sense of design and implementation of experiences and drawing inferences from the complex of outcomes.

⁶ Dans sa critique de cette synthèse, D. Kuhn (1997) ne remet pas en cause ce point.

la littérature ne le fait pour les enfants de l'école élémentaire, ce qui paraît paradoxal. Ainsi, méthodologiquement, le chercheur doit s'assurer des connaissances de l'enfant sur le domaine en jeu dans l'expérience qu'il propose. Il y a une interaction complexe entre le développement cognitif et l'expérience acquise ("expérience" en anglais) par les enfants. En règle générale, on peut dire que si l'on choisit un domaine familier à l'enfant (objets familiers, situations familiales), la compréhension de ce qui se passe se fera beaucoup plus précocement. C'est le cas, par exemple, de la compréhension des relations de causalité entre événements (une transformation d'états par exemple) et de la relation temporelle sous-jacente : l'hypothèse que la cause précède l'effet est présente dès l'âge de 3 ans pour des situations familiales à l'enfant. La traduction de la causalité dans le langage (par exemple un emploi correct du "parce que") est également plus précoce pour des situations familiales (Baudet & Cordier, 1992 ; Goswami, 1998). L'écart en âge dans la compréhension de situations causales dans des domaines familiers versus non familiers peut être très important.

La plupart des concepteurs de contenus d'enseignement au primaire considèrent que les enfants sont des "penseurs concrets". Abstractions, idées qui ne sont pas associées directement à ce qui est concret et manipulable, sont inaccessibles aux enfants. De ce fait on va les faire manipuler en évitant d'aborder explicitement une structuration conceptuelle. Cette hypothèse est largement infirmée par tous les résultats de recherche. Comme le souligne Metz (p. 104), "Bien qu'il [Piaget] croyait que la pensée de l'enfant de l'école élémentaire est fondée sur des référents concrets, Piaget n'a jamais affirmé que le produit de la pensée de l'enfant est concret. [...] L'examen des écrits de Piaget révèle de nombreuses constructions abstraites formulées, au moins à un niveau intuitif, par des enfants de l'école élémentaire, incluant la vitesse (Piaget, 1946), le temps (Piaget, 1973), la nécessité (Piaget, 1987), le nombre (Piaget & Szeminska, 1941), et le hasard (Piaget & Inhelder, 1974)."

La littérature plus récente concernant le développement de la cognition scientifique va beaucoup plus loin sur les capacités d'abstraction de l'enfant. Elle fournit l'existence de nombreuses preuves des théories des enfants et de leur théorisation (Samrapungavan, 1992 ; Vosniadou & Brewer, 1994 ; Carey, 1985 ; Smith, Carey & Wiser, 1985). Les enfants sont capables dès l'âge de 3 - 4 ans, d'aller au delà des connaissances qu'ils peuvent déduire de leurs perceptions, et de faire des inférences quant aux propriétés plus abstraites des objets (les parties internes des êtres vivants, la reproduction et un peu plus tard, le fonctionnement du cerveau). Ils se fondent pour cela sur une appartenance catégorielle commune (le fait que les objets partagent le même nom). Dans la production des inférences, les petits exploitent d'abord l'information donnée par la catégorie à un niveau d'abstraction particulier, là où les exemplaires se ressemblent le plus entre eux (niveau de base et sous-ordonné) : les généralisations d'information sont très probables à ce niveau (Cordier, 1994). Plus tard, ils seront capables de le faire pour des catégories plus abstraites. Dans leur manière de généraliser l'information, les enfants mettent en place très tôt des distinctions fines entre propriétés (liées au biologique, au psychologique (Gutheil, Vera & Keil, 1997), à la morphologie (Gelman, 1988 ; Markman, 1987) et apprennent à ne pas les sur - généraliser.

Pour Metz (1995), la littérature a identifié des manques chez les enfants de cet âge dans l'investigation scientifique [voir s'il y a des travaux en France dans ce sens, dans les recherches INRP ?], par exemple les expériences conçues par les enfants ne permettent pas de tirer des conclusions définitives (Dunbar et Klahr, 1989 ; Schauble & Glaser, 1990), les preuves qu'ils considèrent comme suffisantes ne le sont pas, ils ont tendance à ignorer ou au moins ne pas être gênés par des preuves infirmant leur interprétation. Cependant, cette même littérature a aussi montré les possibilités des enfants. Piaget tout d'abord montre que vers 4 à 6 ans, les enfants ont une exploration pragmatique ; dès 7 - 8 ans, les enfants sont capables de construire des anticipations du résultat d'une expérience faite avec un arrangement nouveau du dispositif et d'une exploration causale. Klahr, Fay, et Dunbar (1993) ont mis en évidence que la plupart des élèves de 6^{ème} et, même quelques élèves de CE2, différenciaient les preuves de la théorie. De nombreux travaux montrent aussi qu'ils sont capables d'utiliser les résultats des actions antérieures et d'introduire une cohérence dans les éléments de leur approche, de faire des inférences valides.

En conclusion, nous retenons en particulier l'importance des connaissances spécifiques dans les possibilités de raisonnement et d'investigation scientifique des enfants.

3.4 Les apports des recherches en didactique

Les travaux de didactique qui informent sur les connaissances naïves sont, au niveau international, assez peu nombreux pour cette tranche d'âge en comparaison à la tranche d'âge suivante. Ainsi, White dans un chapitre récent (sous presse) présente une analyse des sujets de recherche dans quatre journaux, en langue anglaise certes, mais représentant un assez large ensemble de travaux au niveau international. Il y apparaît qu'une minorité de

travaux concerne la tranche d'âge préscolaire et l'école élémentaire comparée à ceux du niveau secondaire et du début de l'enseignement supérieur.

Dans de nombreux travaux au niveau du primaire, l'influence de Piaget est clairement marquée. Dans certains cas, cette influence a porté sur le fondement même de la recherche, c'est-à-dire sur l'hypothèse de la présence de changements qualitatifs, de ruptures au cours du développement portant sur les structures opératoires. Elle a pu aussi se limiter à des aspects méthodologiques, en particulier l'utilisation d'entretiens cliniques mettant souvent en jeu des situations matérielles comme support du questionnement. Ils visaient à étudier l'écart entre les connaissances des élèves et celles souhaitées par l'enseignement. Ces travaux ont une double référence, souvent implicite, dans l'analyse des productions des élèves, d'une part la science qui est prise au niveau du savoir à enseigner, et d'autre part la cohérence de l'élève, lorsqu'il s'agit de reconstruire son point de vue. On peut distinguer deux tendances de recherche. L'une porte sur les conceptions des élèves sur des domaines donnés. Les travaux sont menés avec des élèves pris individuellement ou en petit groupe et utilisent souvent des entretiens semi-directifs de type piagétien ou des questionnaires. Ces travaux se situent dans la même perspective que ceux menés avec des adolescents, discutés ci-dessous (en ce qui concerne les résultats spécifiques, nous reportons le lecteur à la bibliographie de Pfund et Duit (1999)). L'autre tendance correspond à des travaux qui n'ont pas étudié d'emblée les connaissances naïves, mais les ont abordées via des études menées dans les classes. Dans ce type de travaux, les hypothèses d'apprentissage conduisent à la nécessité de faire émerger les idées initiales des élèves (Harlen, 1998). Les travaux menés en France à l'INRP, à la suite de Host (1974) se situent dans cette tendance avec un accent plus important que les travaux anglo-saxons sur les références épistémologiques, en particulier Bachelard (1975) (INRP, 1976a ; 1976b, Plé). Il faut également noter qu'en France, l'académie des sciences soutient une innovation "la main à la pâte" (Charpak, 1996) qui vise à développer l'enseignement scientifique au primaire et qu'un nouveau programme de l'enseignement scientifique au primaire vient de paraître. Des travaux de recherche se situent dans cette dynamique et propose un élargissement des références théoriques en particulier avec des approches socio-constructivistes (Orange & Plé, 2001b).

En conclusion, les recherches en didactiques sur les conceptions des jeunes enfants sont peu développées, et pourtant de nombreuses questions se posent si l'on prend en compte que les raisonnements et capacités d'investigation dépendent des connaissances spécifiques. Ainsi, des travaux aussi bien didactiques que psychologiques pourraient permettre de mieux connaître les connaissances sur lesquelles l'enseignement scientifique pourrait s'appuyer et les connaissances qu'il est raisonnable de viser à développer.

4. LES CONNAISSANCES DE L'ADOLESCENT (11 - 18 ANS)

Pour cette tranche d'âge, les travaux en didactique des sciences sont beaucoup plus nombreux, de ce fait, ils sont présentés avant ceux menés en psychologie.

4.1 Les travaux en didactique

En ce qui concerne la didactique, les travaux sur les connaissances de l'adolescent, sont relativement récents par rapport à ceux de psychologie. Nous en présentons succinctement un rapide historique et nous discutons des aspects théoriques avant de donner quelques exemples de résultats.

4.1.1 Rapide historique

En didactique des sciences, les premiers travaux sur les conceptions datent des années 70, ils ont souvent été liés à l'innovation. Leur visée est de mieux connaître :

- les connaissances préalables des élèves ;
- les difficultés des élèves dans l'apprentissage ;
- les acquis des élèves après enseignement.

Ces travaux, au moins dans une première période, ont été influencés par l'école Piagetienne. Cependant, la variété des termes utilisés dans la première décennie (80 – 90) : représentations, conceptions, misconceptions, alternative framework (utilisé seulement en anglais), raisonnement spontané, modèle spontané, témoigne qu'il n'y a pas d'approche théorique largement partagée. Le terme "représentation", a été repris, en particulier en France, de travaux en psychologie sociale (Doise & Palmonari, 1986, Clément, 1994). Ultérieurement, il a souvent été remplacé par le terme "conception" avec la variante "misconception". Le débat entre "misconception" d'un côté et "conception" ou "alternative framework" manifeste le positionnement des

chercheurs par rapport à ces connaissances des élèves qui, différentes des savoirs scientifiques, peuvent être considérées comme des erreurs ou comme d'autres connaissances qui peuvent être pertinentes dans des contextes différents. Dans le monde anglo-saxon, le terme de "misconception" a été fréquemment utilisé. Ainsi quatre colloques successifs ont été organisés par Novak dès 1983 à l'université de Cornell aux USA sur les "Misconceptions in Science and Mathematics" (Novak, 1983). Ce débat sur les termes de représentation et conception dépasse la didactique, il se retrouve aussi au sein de la psychologie et pose la question des liens avec la mémoire (mémoire à long terme, mémoire de travail) (Richard, 1990). Il serait important de continuer ce débat car il pourra aider à mieux comprendre les conditions de mobilisation des connaissances en situation d'apprentissage en particulier.

On peut considérer qu'après un essor de ces recherches entre les années 80 et 95, on a assisté à une certaine pause, comme en témoigne l'absence du thème "les conceptions des élèves" dans le dernier "Handbook of Science Education" (Fraser & Tobin, 1998). Des publications récentes (Liu, 2001 ; Grayson, Anderson & Crossley, 2001 ; Marin & Jiménez Gomez, 2001) tentent de reprendre les aspects théoriques des conceptions et font des propositions pour qu'il n'y ait plus une accumulation successive de résultats mais un bilan plus global, utilisable autant par les chercheurs que par les enseignants ou les décideurs. Nous développons ce point ci-dessous.

Actuellement, une bibliographie des travaux sur les conceptions est disponible (Pfundt & Duit, 1999) ; à ce jour elle contient 5464 références.

4.1.2 Les orientations théoriques

Une caractéristique majeure de ces travaux est que, malgré des approches assez peu théorisées au moins au début, ils ont produit un noyau de résultats extrêmement stables, d'un chercheur à un autre, d'un pays à un autre au moins dans les pays de culture occidentale, et d'un élève à un autre. C'est ainsi qu'il est possible de présenter ci-dessous, pour des domaines donnés, les "connaissances majoritaires" au sens où si on interroge une population, il y a de très grandes chances de retrouver le même type d'interprétations ou de prédictions.

Pfundt et Duit (1999), dans leur introduction de la bibliographie sur les conceptions, considèrent que le positionnement théorique des recherches, même si elles sont menées dans des perspectives constructives ou socio-constructives, n'est pas toujours très évident. Ils proposent neuf catégories⁷, utiles pour le classement mais qui ne se fondent pas sur les orientations théoriques. En revanche certains des mots clés, essentiellement ceux rajoutés en 1999, réfèrent explicitement à un cadre théorique. Ainsi parmi ces mots, on trouve, théorie de l'activité, Vygotsky, Piaget, Ausubel, constructivisme, constructivisme radical, socio-constructivisme, approche neurologique de l'apprentissage, apprentissage situé alors que d'autres réfèrent à des domaines d'investigation (résolution de problème, processus d'apprentissage). Nous ne reprenons pas chacune de ces orientations, nous considérons deux tendances dans lesquelles se situent les travaux.

(1) Le courant dit constructiviste qui regroupe, comme le soulignent Duit et Pfund (1999), les perspectives individuelles et sociales. Ce courant suppose que les connaissances antérieures de l'apprenant jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage, et que l'apprenant est le propre architecte de son savoir. Il s'est élargi aux interactions sociales qui jouent également un rôle dans l'apprentissage.

(2) Le courant socio-constructiviste proche de la cognition située et la cognition située. Il faut souligner que, dans le courant de la cognition située, la plupart des travaux portent sur l'apprentissage, sans étudier les conceptions des élèves à un moment donné. Ceci n'est pas surprenant puisque prendre comme objet d'étude les

⁷ Ces neuf catégories sont :

1 - Considérations générales concernant la recherche dans ce domaine

2 - Conceptions quotidiennes et scientifiques

3 - Développement des conceptions dans l'histoire des sciences comparé au développement des conceptions des individus

4 - Langage et conceptions

5 - Méthodes d'investigation

6 - Investigations des conceptions des étudiants

C'est de loin le groupe le plus important. Ces travaux sont divisés en domaines thématiques

7 - Enseignement prenant en compte les conceptions des étudiants

Ces travaux sont aussi divisés en domaines thématiques

8 - Investigations des conceptions des professeurs

9 - Conceptions et formation des maîtres

conceptions des élèves à un moment donné n'est pas compatible avec les présupposés théoriques de la cognition située qui ne va pas postuler les "invariances" d'interprétation des individus d'une situation à une autre.

En fait ces catégories n'épuisent pas les questions théoriques qui se posent dans ce type de travaux. Tout d'abord rappelons que méthodologiquement, ces travaux sont souvent menés en relation plus ou moins directe avec un enseignement, les données sont alors des réponses orales via des entretiens souvent individuels ou écrites via des questionnaires écrits. Plus rarement, les données sont prises au cours de l'enseignement. Dans tous les cas, le passage des réponses données à la formulation des conceptions demande une reconstruction de la part du chercheur.

Une première critique porte sur le manque d'explicitation dans les références et le grain choisi pour analyser les réponses. Précisons ces deux points.

- Le plus souvent la **référence** choisie est le savoir disciplinaire en jeu dans l'enseignement comme l'ont souligné Marin et al. (2001). Quelques travaux ont pris explicitement des références différentes. Dans ces cas-là, ils ont choisi souvent de partir de l'hypothèse de la cohérence de l'élève, qui, notons-le, est un objet de débat actuel au sein de la communauté des psychologues et d'une partie de celle des didacticiens. Elle est posée de la même façon que pour la tranche d'âge précédente sur les "théories" des enfants (ce débat sera repris dans la présentation du thème suivant sur l'évolution des connaissances).

- La **granularité** de l'analyse des données est dépendante de la référence choisie. Si le chercheur prend pour référence le savoir scientifique enseigné, son analyse va conduire à proposer des "conceptions" équivalentes aux concepts scientifiques, formulées en utilisant les termes communs aux savoirs scientifique et quotidien ou plus spécifiques du savoir scientifique. La tendance générale est de considérer ces conceptions comme un tout (nous donnons deux exemples dans le point suivant). Une autre tendance, plus récente, va analyser les données sans se limiter à une reconstruction des conceptions des élèves en considérant les sens des mots utilisés dans les différentes productions, les associer aux gestes, aux éléments de la situation dans laquelle les données ont été produites. En anticipant sur le thème suivant, ce choix de granularité va aussi influencer l'analyse de l'évolution des connaissances. Dans cette tendance, les chercheurs vont plutôt considérer certaines connaissances des élèves comme des "points d'appui" de la construction de nouvelles connaissances (Dykstra, 1992, et voir le thème 2 qui développe ce point).

Ce choix du grain d'analyse est bien sûr associé à la méthodologie, dans le premier cas des questionnaires écrits posés à de grands nombres d'élèves et des entretiens sont adaptés alors que dans le second cas, il est nécessaire d'utiliser les productions verbales (orales et écrites) et gestuelles des élèves pendant des durées assez longues. Cette caractérisation du grain d'analyse commence à peine, à notre connaissance, à être traitée en tant que telle (Barab & Kirshner, 2001).

D'autres critiques ont émergé plus particulièrement dans le cas des travaux de la mouvance constructiviste ; elles portent sur les questions de la généralité d'une conception, leur dépendance vis-à-vis des contextes matériel et social et de la culture. Nous discutons de ces points ci-dessous.

4.1.3 Les travaux sur les conceptions dans la mouvance constructiviste

Cette partie porte principalement sur les conceptions relatives à des aspects du monde matériel inanimé traités en général dans l'enseignement de la physique jusqu'au début de l'université. Toutefois, nous commençons par signaler les travaux français sur les conceptions liées à l'enseignement de la biologie et plus largement des sciences de la Vie et de la Terre.

L'approche française sur les conceptions des élèves dans le domaine des sciences de la Vie et de la Terre a aussi commencé dès la fin des années 70 en lien avec les travaux menés à l'INRP au niveau de l'enseignement primaire et s'est poursuivi le plus souvent en relation avec l'enseignement comme nous l'avons déjà signalé pour la tranche d'âge 2-11 ans (Giordan, 1994 ; ASTER, 1997 ; Peterfalvi, 1997 ; Astolfi & Perterfalvi, 1997). On retrouve majoritairement, l'influence de Bachelard : l'idée d'obstacle associée à celle de construction d'une connaissance contre une autre a été largement utilisée, sans toutefois se limiter à considérer que l'apprenant va surmonter un obstacle à partir d'une réfutation rationnelle.

Dans le cas des recherches sur les conceptions concernant le monde matériel inanimé étudié généralement en physique, nous distinguons les travaux qui portent sur les connaissances dans un domaine spécifique et ceux qui étudient des aspects transversaux, comme la démarche scientifique, le traitement des mesures, ou encore les points de vue d'ordre épistémologique comme l'image des sciences.

4.1.3.1 Travaux concernant des domaines spécifiques

Cette synthèse ne se substitue pas à la bibliographie existante et aux travaux présentant des ensembles de résultats (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985 ; CNRS, 1984 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Viennot, 1996 ; Tiberghien et al., 1998) ; elle vise à présenter et discuter le type de résultats obtenus. Dans ces travaux sur les conceptions, on peut dire que les chercheurs français ont été parmi les pionniers (Viennot, 1979 ; Tiberghien & Delacôte, 1976, Séré, 1985) et ont continué à produire dans ce domaine, même s'ils n'ont pas, de loin, gardé un leadership international. Nous donnons ci-dessous deux exemples de résultats dans les domaines de la mécanique et des circuits électriques et qui sont acceptés par l'ensemble des chercheurs en didactique de sciences. Ils font partie du noyau des résultats stables qui caractérisent les travaux sur les conceptions. Ces résultats illustrent aussi les deux aspects théoriques discutés ci-dessus, la référence choisie dans l'analyse est essentiellement le savoir de la physique et la granularité correspond à celle de l'interprétation en terme des concepts physiques.

En ce qui concerne les circuits électriques, Closset (1983) propose une conception que l'on peut formuler ainsi : Tout se passe comme si la pile constituait une réserve de quelque chose de matériel (nommée : courant, électricité, électrons) qu'elle fournit au circuit à débit constant. Le raisonnement se fait en terme d'une notion unique le "courant" qui est fourni par la pile et qui se déplace dans le circuit sans influence de l'aval sur l'amont. L'ensemble des recherches dans ce domaine montre que, pour des questions associées aux circuits simples (générateur, ampoules ou résistors en série ou en parallèle) certaines des réponses obtenues sont semblables quel que soit le niveau des élèves, de la 6ème à la maîtrise, même si sur d'autres aspects, comme le potentiel, des évolutions nettes apparaissent (Dupin & Johsua, 1986). Ces mêmes types de réponses semblables se retrouvent aussi dans différents pays (Shipstone & al., 1988).

Dans ces réponses, on retrouve un raisonnement qui consiste à considérer que le générateur (cause) fournit un courant constant (médiateur) ; l'ampoule ou le résistor consommant ce "courant" (médiateur) au fur et à mesure qu'il traverse les éléments. Une seule variable est utilisée, le "courant" (médiateur), elle dépend de la répartition dans l'espace des éléments, cette répartition étant mise en relation avec la succession temporelle du déplacement du "courant", l'amont n'influe pas sur l'aval. Un point essentiel à signaler est l'idée qu'une notion unique et en même temps multiforme va permettre à l'élève d'interpréter ou de prévoir la situation, le plus souvent à partir d'un raisonnement causal simple.

En ce qui concerne la mécanique, Viennot (1979) propose une "conception" qui permet d'interpréter les réponses des étudiants. Elle considère que lorsque dans la question le mouvement est directement accessible, c'est-à-dire observé ou présenté sous forme d'un diagramme (ou se réfère à une situation très fréquemment vécue), deux cas se présentent :

- il y a compatibilité entre force et vitesse (force et vitesse de même sens ou les deux nulles) , alors l'étudiant répond correctement (la force agit sur la masse) ;
- il n'y a pas compatibilité, alors l'élève propose une "force de la masse" (et non agissant sur), elle est alors proportionnelle à la vitesse (dans ce cas Viennot appelle cette force : le "capital force")." Une formulation rapide peut être de dire que, pour les élèves, la force est dans le sens du mouvement. Mais cette formulation est dangereuse car elle ne précise pas le champ d'application de cette conception, or une conception n'est pas universelle, elle correspond à des explications, interprétations, ou prédictions produites dans une situation spécifique. Ici, la situation se réduit à la question et à la situation matérielle sur laquelle elle porte.

Ainsi, une conception, même donnant lieu à un consensus entre les chercheurs, n'est pas universelle, elle correspond à des explications, interprétations, ou prédictions produites dans une situation spécifique. Comme le montrent les exemples ci-dessus, les chercheurs en didactique précisent, en général, la question et la situation matérielle et certains travaux étudient le rôle de ces facteurs. En revanche, les aspects sociaux des situations dans lesquelles les données sont recueillies, par exemple un questionnaire écrit donné par le professeur ou le chercheur dans une classe, un entretien dans une salle de l'établissement scolaire ou au domicile de l'élève, etc., sont peu étudiés systématiquement. Ainsi, ces travaux ont été largement critiqués du fait qu'ils ne prenaient pas ou peu en compte la situation sociale de plusieurs points. Par exemple il est bien connu que la réponse d'un élève dépend de sa représentation de l'attente de l'enseignant (ou de l'adulte qui prend ce rôle) ; de sa situation sociale vis-à-vis du succès ou de l'échec scolaire, de son rapport au savoir, etc. Cependant, la concordance des résultats entre les divers travaux menés par des chercheurs de pays différents dans des conditions différentes semble prouver que, pour ces cas, la situation sociale a peu d'influence. Plusieurs questions se posent alors.

Une première porte sur les cas pour lesquels les aspects sociaux et culturels jouent peu de rôle et les autres cas où ils jouent un rôle important ; notons que quelques travaux ont abordé une dimension interculturelle (Hewson, 1985 ; Lowe, 1997). Dans le cas où l'aspect social joue peu de rôle sur les conceptions, l'hypothèse de l'importance de l'expérience corporelle du monde matériel dans les interprétations ou prédictions, devrait être étudiée. Elle permettrait peut-être d'interpréter la très grande stabilité de ces conceptions. Ceci conduit à une autre question, celle de la coexistence de différents types d'explications ou d'interprétations chez un même

individu. La stabilité de ces conceptions suppose qu'au moins pour les scientifiques, l'enseignement leur a permis d'acquérir d'autres types d'interprétations ou d'explications. Cette question sera à nouveau discutée dans la présentation du thème 3 sur l'articulation des connaissances.

Une deuxième porte sur le rôle de l'enseignement. Cette question est traitée dans le thème suivant sur l'évolution des connaissances.

4.1.3.2 Travaux concernant les aspects transversaux

Dès le milieu des années 80, quelques publications ont traité des aspects transversaux, en particulier sur le raisonnement causal (Andersson, 1986 ; Viennot, 1993, Ogborn, 1993). Nous reprenons ici les conclusions d'Ogborn donnant ce qui semble émerger de façon consistante chez les élèves et qui précise ce que nous avons introduit dans le cas des circuits électriques : "l'importance de l'action, comme modèle de relation causale [...] ; l'importance du mouvement comme modèle de changement ; [...] la cause est fondamentalement localisée [dans l'espace et le temps] ; le caractère fondamental de l'action causale comme élément de raisonnement *non détaché des objets et des événements*⁸, mais considérée comme une partie essentielle de leur signification" (Ogborn, 1983, p. 44-45).

On peut aussi considérer dans ces aspects transversaux fortement liés aux contenus, les travaux sur la résolution de problème, qui dans le cas de la physique, ont été largement développés souvent en lien avec une approche psychologique du traitement de l'information (Reif, 1984 ; Larkin, 1983 ; Caillot, 1984). Ces travaux montrent des stratégies typiques chez les élèves qui s'appuient en particulier sur les traits de surface du problème, et commencent la résolution en partant des variables ou des concepts formulés dans la question. Ces travaux ont permis de montrer la variété des connaissances en jeu dans une résolution de problème, allant des situations expérimentales typiques aux définitions formelles (Reif & Allen, 1992).

Plus récemment d'autres aspects transversaux ont fait l'objet d'investigation, en particulier l'image des sciences, le traitement des données expérimentales, le traitement de données anormales, le statut d'une preuve scientifique (voir dans le thème 3 sur l'articulation des savoirs une discussion sur le rôle transversal de ces connaissances). Notons ici que les travaux sur l'interprétation des données et sur l'image des sciences liées très directement à l'enseignement ont été particulièrement développés grâce à un projet européen sur les activités expérimentales dans l'enseignement (Séré, 1998). Il ressort que les élèves sont en général peu critiques sur le protocole des expériences et sont sensibles à chaque donnée plutôt qu'à leur ensemble. Si pour certaines situations, on retrouve des réponses communes en revanche, il est difficile d'attacher une orientation épistémologique à un élève donné. Ces résultats montrent qu'il faut être très prudent sur les étiquettes d'empiriste ou de relativiste qu'on peut donner aux élèves. (Leach, Millar, Ryder, & Séré, 2000; Séré. M-G, Dd Manuel, E., Fernandez-Gonzalez, M., Gallegos, J., Gonzalez-Garcia, F., Leach, J. & Perales, F. 2001).

De plus, même s'il apparaît que les élèves utilisent le même type de raisonnement causal dans des domaines différents, les compétences manifestées sur le traitement des données, le statut de la preuve évoluent différemment pour un même domaine (Brickhouse, Dagher, Letts & Shipman., 2000). On retrouve dans ce dernier cas le même type de résultats que celui présenté pour des élèves plus jeunes, le raisonnement scientifique dépend des connaissances spécifiques sur le domaine en jeu.

4.1.4 Travaux dans la mouvance socio-constructiviste et/ou de la cognition située

Vers la fin des années 90, de nouvelles recherches sont apparues, elles portent sur l'épistémologie des élèves et de leurs professeurs concernant les sciences expérimentales (parmi les pionniers Désautels et Larochelle, 1998). Ces travaux sur l'épistémologie des élèves utilisent une approche similaire à celle des conceptions présentées ci-dessus. Ainsi, ils ont souvent pris pour référence les points de vue épistémologiques sur le savoir scientifique qui peuvent se situer dans des courants différents, relativiste, radical constructiviste, réaliste, etc. Ce même type de choix conduit aux mêmes discussions concernant la référence ; l'utilisation des références épistémologiques permettent-elles de rendre compte de l'attitude effective des élèves vis-à-vis de la science ?

En ce qui concerne la prise en compte des cultures, les travaux existants relèvent, à notre connaissance, d'une approche anthropologique (Cobern & Aikenhead, 1998). Ce type de travaux a porté sur "les différentes conceptualisations de la Nature, [...] et la place que tient la science dans ces conceptualisations." (Cobern, 2000,

⁸ c'est nous qui soulignons

p.18)⁹. Les travaux de ce type sont peu nombreux. Un des résultats actuels est qu'il apparaît une diversité conceptuelle considérable. Quand les élèves (niveau 3^{ème}) ont l'opportunité de parler librement sur la Nature, "ces étudiants évoquent de nombreuses idées. La science est seulement l'une de ces nombreuses idées et elle n'est même pas toujours mentionnée. En revanche, les entretiens avec les professeurs de science montrent que les professeurs vont presque immédiatement parler de science. (Cobern, 2000, p. 99)". Cependant la diversité au sein des professeurs est grande aussi.

4.2 Les travaux en psychologie

Les recherches en psychologie qui concernent la tranche d'âge correspondant à la pré-adolescence et à l'adolescence sont beaucoup moins nombreuses que celles qui se sont centrées sur les enfants. Elles se focalisent essentiellement sur l'étude du raisonnement scientifique sous toutes ses formes (déduction, induction, raisonnement par analogie). De fait, ces recherches trouvent leurs racines dans la tranche d'âge précédente, et elles se poursuivent en se complexifiant. On trouve, par exemple, des illustrations quant à l'étude de la compréhension de situations impliquant des facteurs multiples (correspondant à un multi-déterminisme ou déterminisme probabiliste). Ainsi, Kuhn, Amsel & O'Loughlin (1988) mettent en évidence que les enfants les plus âgés (14 ans dans cette recherche) montrent des capacités à évaluer les co-variations entre facteurs. Leur performance, loin d'être parfaite (50 % de réussite) équivaut à celle des adultes. Les résultats de Klahr., Fay. & Dunbar (1993) confirment ceux de Kuhn et al en ce que les enfants plus jeunes (11-12 ans) ne semblent pas identifier quelles sortes de facteurs pourraient bien confirmer ou infirmer une hypothèse proposée.

Au-delà, des recherches se focalisent sur les mécanismes d'élaboration, de déclenchement, de révision et de tests d'inférences. La tâche de référence fréquemment utilisée est le test d'hypothèses dans la découverte de règles et/ou l'abstraction des catégories (Osherson, Smith, Wilkie, Lopez & Shafir, 1990; Rips, 1975; Smith, Lopez & Osherson, 1992). Les inférences inductives dépendraient de la similarité des exemplaires, de leur typicalité (dans l'appartenance à une catégorie) ainsi que de la diversité des prémisses. Tous ces éléments jouent sur la nature des inférences produites par les adolescents, ce qui reste vrai pour les adultes. Néanmoins, les mécanismes cognitifs mobilisés pour l'exécution de ce type de tâche sont encore largement méconnus (Rossi, Caverni & Girotto, sous presse).

Les aspects fondamentaux du temps, de l'espace ou de la causalité ont été assez peu abordés. C'est essentiellement des travaux dans le courant piagétien qui les ont étudiés. Crépault (1989) pour le temps et la causalité, Montangero (1996) pour le temps.

On peut comprendre le fait que ces aspects aient été peu étudiés d'emblée en particulier en didactique à partir du commentaire de Klein (2001). Pour lui, ces aspects sont si fondamentaux que le savoir scientifique ne va pas les aborder directement, s'agissant de mots "primitifs", on ne peut les définir car "définir, c'est avant tout ramener une conception donnée à une autre plus fondamentale. [...] et c'est dans doute pourquoi les scientifiques posent finalement très peu de questions comme qu'est ce que le temps ?, qu'est ce que l'espace ? ou qu'est ce que la matière ? Attendre d'eux qu'ils répondent à ces questions, c'est oublier que la puissance de la physique vient de ce qu'elle a su limiter ses ambitions.

5. CONCLUSIONS

A la question : que sait-on des connaissances naïves sur le monde matériel de leur évolution du bébé à l'adulte ? On peut aussi bien répondre " beaucoup " et " peu de choses " .

On peut répondre " beaucoup " car, ce qui frappe à la suite de cette synthèse est une sorte de continuité entre les connaissances que l'on prête au bébé, la construction pas à pas d'une représentation du monde matériel au cours de l'enfance, et les conceptions des adolescents. On voit chez les enfants des capacités de raisonnement dans les domaines où ils sont familiers que l'on retrouve chez les adolescents, ce qui conduit à des types d'interprétation très proches de certaines situations du monde matériel.

Cependant, on peut aussi répondre " peu de choses " car la différence entre les connaissances du bébé et de l'adolescent s'impose aussi. On voit apparaître chez les adolescents des capacités plus complexes de raisonnement, de gestion de connaissances variées, même si ce dernier point a été peu étudié. Comment

⁹ En arrière plan à ces travaux, il y a l'hypothèse que la culture scientifique est occidentale et qu'il est nécessaire de présenter les connaissances scientifiques comme appartenant à cette culture.

interpréter à la fois des mêmes types de connaissances chez l'enfant et l'adolescent et une évolution de leurs connaissances et raisonnements ?

Envisager d'étudier une question aussi large nécessite de nombreux travaux. Tout d'abord, pour effectivement étudier les facettes de ces connaissances, celles qui semblent relativement stables et celles qui évoluent avec l'âge il faudrait comparer les références choisies pour leur analyse. Dans les travaux présentés dans ce thème, on trouve en particulier les ontologies, la structure des connaissances en mémoire, les structures logico-mathématiques, la cohérence de l'individu, un savoir scientifique spécifique. Dans quelle mesure la variété de ces références permet-elle de comparer les résultats ? En d'autres termes comment étudier la variété des connaissances acquises, leur relation, leur condition de mobilisation ?

Si nous acceptons qu'un adulte a des connaissances de plusieurs types, alors se pose la question de leur évolution respective depuis le bébé et de leur articulation. En ce qui concerne les connaissances naïves, on retrouve des questions que nous avons déjà soulevées. Ainsi, comme nous le montrent les travaux sur les bébés, la perception est un puissant vecteur de construction des connaissances, dès la naissance. Quelles sont les formes de représentation mises en évidence dans les tâches perceptives et celles nécessitées dans les habiletés motrices ? De quelle nature sont les relations entre ces représentations conceptuelles et le langage ? Les connaissances mobilisées ont-elles le même statut ? Comment expliquer la fragilité des connaissances naïves du bébé puisqu'elles vont nécessiter, pour la plupart, un réapprentissage de la part de l'enfant d'âge pré-scolaire et scolaire ? A quelle granularité des connaissances faut-il se situer pour étudier l'évolution de ces connaissances naïves ? Quelles sont les connaissances quotidiennes des adultes ?

Ces questions ne peuvent être isolées de celles relatives aux rôles des contextes sociaux dans la mobilisation de telles ou telles connaissances ? Ainsi les connaissances du bébé sont-elles réellement indépendantes des contextes sociaux, véritables universaux ? Si tel est le cas, comment expliquer leur réorganisation ou leur contamination dès que l'enfant s'approprie une langue spécifique, celle de sa culture ? Quelles sont les connaissances qui vont dépendre fortement des contextes sociaux et celles plus indépendantes ? Quels types de contextes sociaux vont être déterminants dans la mobilisation de telles ou telles connaissances chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte ?

Ce thème ouvre ainsi tout un ensemble de nouvelles questions qui nécessitent des collaborations entre disciplines sur des points pour lesquels actuellement les discussions scientifiques commencent à émerger.

Bibliographie

- Anderson, B. (1986). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, 2, 155-171.
- Astolfi, J.P. & Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *ASTER*, 25, 193-216.
- Atran, S. (1994). Core domains versus scientific theories : evidence from systematics and Itza-maya folkbiology. In L.A. Hirschfeld & S.A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: domain specificity in cognition and culture*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Bachelard, G. (1975). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin. 256p.
- Baillargeon, R. (1986). Representing the existence and location of hidden objects: object permanence in 6 and 8 month-old infants. *Cognition*, 23, 21-41.
- Baillargeon, R. (1987). Young infants' reasoning about the physical and spatial properties of a hidden object. *Cognitive Development*, 2, 179-200.
- Baillargeon, R. & Graber, M. (1987). Where is the rabbit? 5;5-month-old infants' representation of the height of a hidden object. *Cognitive Development*, 2, 375-392.
- Baillargeon, R., Spelke, E.S. & Wasserman, S. (1985). Object permanence in 5-month-old infants. *Cognition*, 20, 191-208.
- Banet, E. & Nuñez, F. (1997). Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. *International Journal of Science Education*, 19 (10), 1169-1194.
- Barab, S. A., & Kirshner, D. (Eds.). (2001). Rethinking methodology in the learning sciences. *Journal of the learning sciences Vol. 10(1&2)*.
- Baudet, S. & Cordier, F. (1992). Representation of complex actions: a developmental study. *European Bulletin of Cognitive Psychology*, 12(2), 141-172.
- Bideaud, J., & Houdé, O. (1991). *Cognition et Développement. Inventaire d'une "boîte à outils" théorique*. Berne, Peter Lang.
- Bideaud, J. (1999). Psychologie du développement: les avatars du constructivisme. *Psychologie Française*, 44(3), 205-220.
- Braisby, N., Francks, B. & Hampton, J. (1996). Essentialism, word use and concepts. *Cognition*, 59, 247-274.
- Brickhouse, N. W., Dagher, Z. R., Letts, W. J. I., & Shipman, H. L. (2000). Diversity of students' views about evidence, theory, and the interface between science and religion in an astronomy course. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 340-362.
- Brysbart, M., Van Wijnendaele, I. & De Deyne, S. (2000). Age-of-acquisition effects in semantic processing tasks. *Acta psychologica*, 104, 215-226.
- Buffler, A., Allie, S. & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education*, 23(11), pp. 1137-1156.
- Caillot, M. (1984). La résolution de problèmes de physique : représentations et stratégies. *Psychologie française*, 29(3/4), 257-262.
- Carey, S. & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L.A. Hirschfeld, & S.A. Gelman, (Eds.), *Mapping the mind* (pp. 169-200). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Charpak, G. (Ed.) (1996). *La main à la pâte*. Paris : Flammarion
- Chinn, C.A. & Brewer, W.F. (1998). Theories of knowledge acquisition. In B.J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education*, Part One. p.97-113.
- Clément, P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances. In A. Giordan, (Ed.) *Conceptions et connaissances* (pp.15-45). Berne: Peter Lang.
- Closset, J.L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse 3ème cycle, Université Paris 7.
- CNRS (Ed.). (1984). Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international. Paris: CNRS.
- Cobern, W. (2000). *Everyday thoughts about nature*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Cobern, W. W. & Aikenhead, G.S. (1998). Cultural aspects of learning science. In B.J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education*, Part One. p.39-51.
- Cohen, L.B., Amsel, G., Redford, M.A., & Casasola, M. (1998). The development of infant causal perception. In A. Slater (Ed.) *Perceptual Development. Visual, auditory, and speech perception in infancy*. London : Taylor & Francis Group, Psychology Press, pp. 167-209.
- Coley, J.D. (1995). Emerging differentiation of folkbiology and folkpsychology: attributions of biological and psychological properties to living things. *Child Development*, 66, 1856-1874.
- Cordier, F. (1994). *Représentations cognitives et langage: une conquête progressive*. Paris, Armand Colin.

- Cordier, F. (2000). Le développement des théories naïves sur le monde. L'exemple de la biologie. In D. Keller, J.P. Durafour, J.F. Bonnot, R. Sock (Eds.) *Percevoir: Monde et Langage* (pp 175-184).
- Crepault, J. (1989). *Temps et raisonnement*. Lille : Presse universitaires de Lille.
- Désautels, J., & Larochelle, M. (1998). The epistemology of students: the 'thingified' nature of scientific knowledge. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 115-126). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- diSessa A. (1993). "Toward an Epistemology of Physics". *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- Doise, W. & Palmonari, A. (Eds.) (1986). Textes de base en psychologie. L'étude des représentations sociales. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.). (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Dunbar, K. & Klahr, D. (1989). Developmental differences in scientific discovery strategies. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: the impact of Herbert A. Simon* (pp. 109-144). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dupin, J.J. et Johsua, S. (1986). L'électrocinétique du Collège à l'Université : évolution des représentations des élèves, et impact de l'enseignement sur ces représentations. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 683, 779-800
- Dykstra, D. (1992). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R. Duit, F. Goldberg., & H. Niedderer (Eds), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 40-58). Kiel: IPN.
- Flandé, Y. (2000). Protocoles expérimentaux, tests d'hypothèses et transfert, en sciences, à l'école primaire. Thèse. Université Denis Diderot, Paris 7.
- François, J., Cordier, F. & Victorri, B. (2001). La sémantique adjectivale. Programme cognitique.
- Franquart-Declercq, C. & Gineste, M.D. (2001). L'enfant et la métaphore. *L'Année Psychologique*, 4, 723-752.
- Fraser, B. J., & Tobin, K. G. (Eds.). (1998). *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gelman, S.A. (1988). The development of induction within natural kind and artifact categories. *Cognitive Psychology*, 20, 65-95.
- Gelman, S.A. & Wellman, H.M. (1991). Insides and essences : early understandings of the non-obvious. *Cognition*, 38, 213-244.
- Goswami, U. (1997). Cognition in children. P. Bryant & G. Butterworth (Eds.) Psychology Press, Ltd, Publishers.
- Gott, R. & Dungan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.
- Grayson, D.J., Anderson, T.R. & Crossley, L.G. (2001). A four-level framework for identifying and classifying student conceptual and reasoning difficulties. *International Journal of Science Education*, 23(6) 611-622.
- Gutheil, G., Vera, A. & Keil, F.C. (1998). Do houseflies think? Pattern of induction and biological beliefs in development. *Cognition*, 66, 33-49.
- Harlen, W. (1998). Teaching for understanding in pre-secondary science. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 183-197). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hatano G. (1990). The nature of everyday science: a brief introduction. *British Journal of Developmental Psychology*, 8, 245-250.
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). *Toucher pour connaître : Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Paris, PUF.
- Hewson, M. G. (1985). The role of intellectual environment in the origin of conceptions: An explanatory study. In L. H. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 153-161). Orlando: Academic Press.
- Hischfeld, L.A. & Gelman, S.A. (Eds.). (1994). *Mapping the mind Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). Cambridge: Cambridge University Press.
- Host, V., Deman, C., Jeanine, D., & Maurice, D. (1974). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. I. Objectifs - méthodes - moyens* (Vol. 62). Paris: INRP.
<http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/index.htm> ; <http://edu.leeds.ac.uk/projects/lis/labwork.htm>
<http://gric.univ-lyon2.fr/gric3/ressources/ICPE/francais/BOOKS.html>
<http://www2.ucsc.edu/mlgr.html>, Ithaca: Cornell University, USA
- Inagaki, K. & Hatano, G. (1987). Young children's spontaneous personification as analogy. *Child Development*, 58, 1013-1020.
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1970). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris : Presses Universitaires de France.
- INRP. (1976a). Activité d'éveil scientifiques. IV Initiation biologique. Unité du vivant et diversité des formes vivantes. L'homme parmi les vivants, N° 86. Paris: Institut National de Recherche Pédagogique.

- INRP. (1976b). *Activité d'éveil scientifiques. V Démarches pédagogiques en initiation physique et technologique. N° 108.* Paris: Institut National de Recherche Pédagogique.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques.* Paris: Presses universitaires de France.
- Karmiloff-Smith, A. (1994). Precursor of beyond modularity. *Behavioral and Brain Sciences, 17*, 693-745.
- Keil, F.C. (1986). The acquisition of natural kind and artifact terms. In W. Demopoulos & A. Marras (Eds.), *Language learning and concept acquisition. Foundational issues* (pp. 133 - 153). Norwood, NJ Ablex.
- Keil, F.C. (1988). Commentary: conceptual heterogeneity versus developmental homogeneity (on chairs and bears and other such pairs). *Human Development, 31*, 35-43.
- Keil, F.C. (1994). The birth and nurturance of concepts by domains: the origins of concepts of living things. In L. Hirschfeld & S Gelman (Eds.), *Domain specificity in cognition and culture* (pp.234-254). New-York: Cambridge University Press.
- Klahr, D., Fay, A.L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: a developmental study. *Cognitive Psychology, 25*, 111-146.
- Klein, E. (2001). Le tic-tac des physiciens. *La recherche, 5*, 8-12.
- Komisarjevsky Tyler, L. (1983). The development of discourse mapping processes: the on-line interpretation of anaphoric expressions. *Cognition, 13*, 309-341.
- Kellman, P., & Spelke, E.S. (1983). Perception of partly occluded objects in infancy. *Cognitive Psychology, 15*, 483-524.
- Kuhn, D. (1997). Constraints or guideposts? Developmental psychology and science education. *Review of Educational Research, 67*, 141-150.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills.* San Diego, Academic Press.
- Labrell, F. & Boutet-Blouin, C. (2000). Dénomination et description parentales des objets en direction de l'enfant de 4 ans. *Psychologie française, 45*(2), 177-186.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980). *Les Métaphores dans la Vie Quotidienne.* Paris, Editions de Minuit.
- Larkin, J. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 75-98). Hillsdale, N.J. : LEA.
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., & Séré, M.-G. (2000). Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts. *Learning and Instruction, 10*(6), 497-527.
- Le Ny, J.F. (à paraître). Dictionnaire des Sciences Cognitives.
- Lecuyer, R. (1989). *Bébés astronomes, bébés psychologues.* Liège: Pierre Mardaga.
- Lécuyer, R., Streri, A., & Pêcheux, M.G. (1996). *Le développement cognitif du nourrisson.* Paris: Nathan Fac. Psychologie.
- Lowe, J. (1997). Scientific concept development in Solomon Island students: a comparative analysis. *International Journal of Science Education, 19* (7), 743-739.
- Marin N., & Jiménez Gomez, E. (2001). Characteristics of the methodology used to describe students' conceptions. *International Journal of Science Education, 23*(7) 663-690.
- Markman, E.M. (1987). How children constrain the possible meanings of words. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and Conceptual Development : Ecological and Intellectual factors in Categorization.* Cambridge : Cambridge University Press.
- Medin, D. L. & Ortony, A. (1989). Psychological essentialism. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 179-195). Cambridge: Cambridge University Press.
- Metz, K. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research, 65*, 93-127.
- Metz, K. (1997). On the complex relation between cognitive developmental research and children's science curricula. *Review of Educational Research, 67*, 151-163.
- Metz, K. (1998). Scientific inquiry within reach of young children. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 81-95). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Montagero, J. (1996). *Understanding change in time.* London : Taylor & Francis
- Montagero, J. (2001). Comment l'enfant comprend le temps. Quelles opérations mentales sous-tendent la mesure du temps ? *La recherche, 5*, 88-91.
- Nazir, T.A., Decoppet, N. & Aghabadian, V. (2000). On the origins of Age-of-Acquisition effects in the perception of printed words. Acte de colloque. Besançon.
- Novak, J.D. (1983 et suivantes). Misconceptions in Science and Mathematics. <http://www2.ucsc.edu/mlgr.html>, Ithaca: Cornell University
- Ogbron, J. & Bliss, J. (1990). A psycho-logic of Motion. *European Journal of Psychology of Education, 5*, n°4, 379-390.
- Orange, C. & Plé, E. (Eds.) (2001a). Les sciences de 2 à 10 ans.. *ASTER, 31*.

- Orange, C. & Plé, E. (2001b). Les sciences de 2 à 10 ans. L'entrée dans la culture scientifique. *ASTER*, 31, 1-8. Paris: INRP
- Osherson, D.N., Smith, E.E., Wilkie, O., Lopez, A. & Shafir, E. (1990). Category-based induction. *Psychological review*, 97, 185-200;
- Peterfalvi, B. (Ed.) (1997). Enseignants et élèves face aux obstacles. *ASTER* 25. Paris: INRP
- Pfundt, H. & Duit, R. (1999). Bibliography : Students' alternative frameworks and science education (Kiel, Germany: IPN).
- Piaget, J. (1946). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1973). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France. 2^{ème} édition.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1974). *La genèse de l'idée de hasard*. Paris: Presses Universitaires de France. 2^{ème} édition.
- Piaget, J. (1987). Possibility and Necessity Vol 2. The role of necessity in cognitive development. Hardcover. Univ Minnesota.
- Piaget, J. & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Reif, F. (1984). Understanding and teaching problem solving in physics. In CNRS (Ed.), *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international* (pp. 15-53). Paris: CNRS.
- Reif, F., & Allen, S. (1992). Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration. *Cognition and Instruction*, 9, 1-44.
- Richard, J.-F. (1990). La notion de représentation et les formes de représentations. In J.-F. Richard & C. Bonnet & R. Ghilgione (Eds.), *Traité de psychologie cognitive 2* (Vol. 2, pp. 36-41). Paris: Dunod.
- Rips, L.J. (1975). Inductive judgments about natural categories. *Journal of Verbal learning and Verbal Behavior*, 14, 665-681.
- Rossi, S., Caverni, J.P. & Girotto, V. (sous presse). Hypothesis testing in a rule discovery problem: when a focused procedure is effective. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- Samarapungavan, A. (1992). Children's judgments in theory choice tasks: scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45, 1-32.
- Schauble, L., & Glaser, R. (1990). Scientific thinking in children and adults. *Human development*, 21, 9-27.
- Schiele, B. (1984). Note pour une analyse de la notion de coupure épistémologique. *Communication Information*, vol VI, n°2/3. p. 42-98.
- Séré, M.-G. (1985). The gaseous state. In R. Driver & E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 105-123). Milton Keynes: Open University Press.
- Séré, M.-G. (Ed.) (1998). *Improving Science Education: issues and research on innovative empirical and computer based approaches to labwork in Europe*. Documents disponibles sur les sites :
- Séré, M.G., Journeaux, R. & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement error. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427-438.
- Shipstone, D.M., Rhöneck v., C. Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.J., Johsua, S. Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 3, p.303-316.
- Smith, C., Carey, S. & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21(3), 177-233.
- Smith, E.E.; Lopez, A. & Osherson, D. (1992). Category membership, similarity and naive induction. In A. Healy, S. Kosslyn & R. Shiffrin (Eds), *Essays in honor of W. K. Estes*. Hissdale, NJ : Erlbaum.
- Springer, K. & Keil, F.C. (1991). Early differentiation of causal mechanisms appropriate to biological and nonbiological kinds. *Child Development*, 62, 787-781.
- Streri, A. (2000). Pour une certaine unité des sens à la naissance. *Devenir*, 12, 59-79.
- Streri, A., & Lecuyer, R. (1999). Paradigmes expérimentaux et méthodes d'étude du nourrisson. In *Les méthodes de recherches en psychologie (chapitre 2)*. Paris : Dunod. Pp 73-131.
- Stevens, M. (2000). The essentialist aspects of naive theories. *Cognition*, 74, 149-175.
- Ters, F., Mayer, G. & Reichenbach, D. (1969). *Vocabulaire orthographique de base*. Neuchâtel : H. Messeiller (Eds).
- Tiberghien, A., Jossem, L., Barojas, J. (Eds.) (1998). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. <http://www/physics/ohio-state.edu/~jossem/ICPE/BOOKS.html>.
Version française: <http://gric.univ-lyon2.fr/gric3/ressources/ICPE/francais/BOOKS.html>
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris : Hermann.
- Viennot, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13-27.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. Paris : de Boeck et Larquier.
- Vion, M. & Colas, A. (1998). L'introduction des référents dans le discours en français: contraintes cognitives et développement des compétences narratives. *L'Année Psychologique*, 98, 37-59.

- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1994). Mental Models of the day-night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.
- Vygotski, L.S. (1985). *Pensée et langage*. Traduction de F. Sève (première édition en Russe, 1934). Paris :
Terrains / Éditions sociales.
- White, (1982).
- White, R. (to be published) ch 25. The revolution in research on science education. in V. Richardson (Ed.)
Handbook of Research on Teaching (4^{ème} édition), Washington: American Educational Research
Association.

THEME 2

ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES CHEZ L'APPRENANT

Christian Buty

UMR Groupe de Recherche sur les Interactions Communicatives (GRIC), CNRS – Université Lumière Lyon 2

Antoine Cornuéjols

Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Université de Paris-Sud, Orsay

Comment passe-t-on des connaissances naïves aux concepts scientifiques au cours du développement (formation) de l'individu ? Peut-on décrire des mécanismes généraux ? Dans quelle mesure ces mécanismes sont-ils dépendants des savoirs en jeu dans l'acte d'apprentissage ? Quels sont les facteurs principaux de cette évolution ?

Ce thème a pour objectif de montrer comment les principaux courants de la recherche sur l'enseignement scientifique ont abordé ces questions.

Le premier élément important est que les chercheurs dans le domaine ne s'accordent pas totalement sur la nature de ce qui évolue. Nous allons développer au préalable ce point. Puis nous envisagerons les différentes positions sur les facteurs prépondérants dans l'évolution des connaissances.

En guise de préambule on peut faire remarquer que la psychologie, l'épistémologie et la didactique des sciences ont conjugué leurs efforts pour élucider les modes d'apprentissage des concepts scientifiques : l'histoire de la didactique des sciences porte constamment trace d'influences des théories psychologiques, auxquelles cette discipline a eu successivement recours au fur et à mesure que les tentatives d'améliorer les systèmes éducatifs dans le domaine de l'éducation scientifique entraient en application (Duit & Treagust, 1999).

1. QU'EST CE QUI EVOLUE ?

Autour de cette question se noue une diversité de travaux sur le fonctionnement cognitif d'un individu engagé dans un processus d'apprentissage quel qu'en soit le cadre institutionnel. À côté d'un panorama de ces travaux, essentiellement issus de didactique des sciences et de psychologie, il nous a semblé utile de donner un aperçu sur l'état de l'apprentissage machine, qui permet de prendre la mesure de la complexité des problèmes posés par l'étude de l'apprentissage humain.

1.1 Des compétences générales ou des connaissances propres à un domaine spécifique ?

Au cours de soixante années de travail Jean Piaget a laissé une œuvre immense, qui a profondément influencé la psychologie et les sciences de l'éducation. Ce travail a construit et étayé un certain nombre d'idées-forces sur le développement cognitif

La première idée est que l'apprenant a un rôle nécessairement actif dans la construction de ses propres connaissances (*constructivisme*).

La seconde idée est que le développement cognitif se déroule sur la base de la maturation de capacités générales d'ordre logico-mathématique. " Mon unique idée ... a été que les opérations intellectuelles procèdent en termes de structures d'ensemble. " (Piaget, 1976)

En dernier lieu, le développement est conçu dans la vision piagétienne comme une suite de paliers, sur lesquels l'équilibre entre le sujet et le milieu est stable. La rupture de l'équilibre fait passer au niveau supérieur. En somme le sujet en développement surmonte toujours la même difficulté.

De façon globale, ces paliers peuvent être regroupés en trois stades principaux : le stade sensori-moteur, le stade des opérations concrètes et le stade des opérations formelles. Un critère primordial de l'appartenance de l'enfant à un stade ou à un autre est son attitude devant le principe de conservation des quantités physiques (Piaget & Inhelder, 1941).

De cet acquis que constitue l'œuvre de Piaget, la psychologie développementale a gardé l'idée du constructivisme, mais a rejeté les deux idées du passage obligatoire par des stades de développement délimités par des âges biologiques relativement précis, et d'un développement en terme de capacités logico-mathématiques générales, c'est-à-dire indépendantes du contexte (Vosniadou, 1999).

Pauen (1999, p. 18) donne l'exemple suivant : selon Piaget, les enfants ne classifient pas les entités entre vivants et non-vivants correctement avant le stade des opérations formelles. Ce jugement a été démenti par des expériences plus récentes. Notamment Carey (1985) a mené des études concluant différemment : la connaissance que les enfants ont du monde vivant vient de leurs expériences avec les êtres humains ; ils classifient comme vivant ce qui possède des similarités repérables avec les êtres humains, et cela très tôt.

Selon Vosniadou (1999), l'idée d'un apprentissage constitué par le développement de capacités générales indépendantes du contexte a également été rejetée rapidement par les premières études de recherche en didactique des sciences, qui ont constaté la résistance des conceptions initiales des apprenants (Viennot, 1979 ; Driver & Easley, 1978) ou un type de fonctionnement cognitif spécifique des élèves suivant le domaine de la physique étudié (Tiberghien, 1983 p. 132) et par conséquent la nécessité de donner la priorité à une étude domaine par domaine sur des structures générales de raisonnement supposées.

De façon générale, il est bien admis désormais que la nature spécifique de la connaissance conceptuelle varie suivant les divers domaines de l'activité humaine. À la suite de Levine et Resnick, Säljö (1999) fait remarquer que cette idée que l'évolution des connaissances dépend du domaine est un pas important vers la reconnaissance des aspects sociaux de la cognition (cf. infra).

1.2. Le courant théorique du changement conceptuel

À partir du moment où on considère que l'évolution des connaissances procède de mécanismes spécifiques dans chaque domaine, la conséquence logique est qu'on va centrer les recherches sur le contenu conceptuel de chaque domaine. D'où la naissance d'une théorisation de l'apprentissage en sciences nommée " changement conceptuel (*conceptual change*)". Le terme " changement conceptuel " a pris des sens extrêmement divers dans la recherche en didactique des sciences. On trouvera chez Duit (1999, p. 263) des références de travaux décrivant ces diverses acceptions.

Le courant théorique du changement conceptuel a ses sources principales dans deux massifs distincts, mais dont les eaux se sont rapidement mêlées : la psychologie cognitive développementale (à la suite de Carey, 1985), et la didactique des sciences (à la suite de Posner et al., 1982, qui énonça les quatre conditions du changement conceptuel, cf. infra). D'après Duit (1999), cette théorie établit un parallèle entre les changements dans l'histoire des sciences et les changements individuels. La théorie du *conceptual change* a été révisée une première fois par Strike et Posner (1992), dans le sens d'une plus grande prise en compte des divers facteurs, d'une "écologie conceptuelle". Autrement dit, le changement conceptuel ne peut ni s'apprécier ni s'envisager comme soumis à des conditions portant seulement sur le niveau du contenu, mais on doit prendre en compte aussi bien des facteurs motivationnels (Pintrich, 1999) que les vues sur la science ou sur ce que doit être l'enseignement, aussi bien chez l'apprenant que chez l'enseignant.

Les quatre conditions que Posner et ses coauteurs ont énoncées portent sur la possibilité d'un changement conceptuel :

- Les conceptions actuellement utilisées par l'apprenant doivent être de son point de vue insatisfaisantes.
- Une nouvelle conception doit être intelligible.
- Une nouvelle conception doit apparaître a priori plausible.
- Une nouvelle conception doit promettre une utilisation fructueuse.

Rapidement, de nombreuses critiques ont porté sur le terme de " changement conceptuel " lui-même. Les résultats de recherche montrent en effet qu'il serait erroné de limiter le problème de l'éducation scientifique au remplacement d'une connaissance par une autre. L'évolution des connaissances peut prendre plusieurs formes : une acquisition de méta-connaissances (la validation en mathématiques) ; une généralisation de la pensée (le passage de l'arithmétique à l'algèbre) ; l'imbrication avec une modélisation (la proportionnalité)... C'est donc bien plus large que le simple changement des concepts. Cette évolution peut se manifester de plusieurs façons également : l'adoption d'une stratégie de résolution de problème nouvelle ; la maîtrise de certains registres sémiotiques ; la certitude sur la validité d'un énoncé...

Dès le début de l'apparition de ce terme " changement conceptuel " d'ailleurs, Carey (1985, p. 5) insistait sur la nécessité d'envisager un " changement de théorie " en même temps qu'un " changement conceptuel ". Faisant référence aux travaux d'épistémologie des sciences (Kuhn, 1983 ; Toulmin, 1973 ; Feyerabend 1956), elle marquait que le sens donné à un concept dépend des relations entre les différents concepts d'une théorie. Toute évolution doit être comprise comme affectant à la fois les concepts en eux-mêmes, les relations entre eux et par

suite les explications acceptables dans le cadre de la théorie, et la phénoménologie du champ que la théorie permet d'appréhender.

1.3. Cohérence partielle ou totale du fonctionnement cognitif d'un individu

Indiquer qu'un concept n'a pas de sens local, mais prend sa signification comme élément d'une théorie, c'est exiger du même coup une certaine cohérence cognitive de l'individu qui l'utilise. Devant les résultats de recherche, les chercheurs se sont divisés sur la question de la cohérence qu'on devait attendre d'un individu, d'un élève par exemple, suivant deux pôles qu'on va exemplifier ci-après par les positions de Vosniadou et de diSessa.

Les idées de base de la position théorique de Vosniadou (1994), assez largement reprises, peuvent être énoncées comme suit :

- Depuis le début de l'activité cognitive d'un sujet, les concepts et connaissances sont incorporés dans des structures théoriques assez larges.
- Les premières expériences de la vie courante créent chez l'enfant un *cadre théorique (framework theory)* qui impose des contraintes sur le comportement des objets physiques (continuité, solidité, pas d'action à distance, gravité, inertie) ; ce *cadre théorique* permet des explications et joue un rôle analogue à celui des paradigmes en science ; elle est presque toujours implicite. Pour éviter de faux débats, il faut bien préciser que pour Vosniadou " le mot *théorie* est utilisé pour qualifier une structure relationnelle et explicative et non une théorie scientifique explicite et bien formée " lorsqu'il s'applique à l'élève (1994, note p. 47).
- Le *cadre théorique* comporte des présuppositions ontologiques et épistémologiques.
- A l'intérieur de le *cadre théorique* et sous ses contraintes, se développent des *théories spécifiques* adaptées à des domaines phénoménologiques restreints et particuliers.
- Chaque *théorie spécifique* s'applique à des situations réelles par le moyen de *mental models*, des représentations analogiques de la situation, qui incorporent des mécanismes explicatifs de la *théorie spécifique* et des contraintes de le *cadre théorique*.
- Vosniadou distingue deux types de *modèles mentaux* : ceux créés sur-le-champ, spécifiques à la situation et au contexte, qu'elle désigne par *tokens* ; et ceux qui ont été suffisamment efficaces dans des situations passées pour être stockés et réutilisés ; elle les désigne par *types de modèles mentaux*, ou *modèles mentaux génériques*.
- Pour Vosniadou, la radicalité du changement observé sur un temps assez long résulte de microchangements progressifs distribués tout au long de ce temps.
- Certaines idées dépendent du contexte, et certaines non. Quand une règle est acquise, c'est une tendance naturelle, qu'on peut attribuer aux nécessités de conservation de l'espèce, de la généraliser.

Il y a des moments dans le développement d'un individu où un certain modèle mental relatif à une classe de phénomènes est fixé ; pendant ces phases l'individu répond de façon cohérente aux questions qu'on peut lui poser sur-le-champ phénoménologique ou conceptuel en jeu. Exemple : à 4 ans, un enfant utilise en général un modèle de " force interne " (associée au poids d'un objet) ; à 12 ans il utilisera plutôt un modèle de " force acquise " (associée au mouvement de l'objet).

Il y a d'autres phases de transition où l'individu utilise des modèles mixtes : il peut alors produire des réponses incohérentes entre elles à un ensemble de questions, parce qu'il utilise à la fois des critères appartenant au modèle " force interne " et au modèle " force acquise ". Le contexte de l'utilisation peut alors changer le modèle utilisé, et même la fréquence avec laquelle on associe telle situation à tel modèle.

Notons que dans certains cas (Vosniadou et Brewer, 1992) l'élève arrive à constituer un *modèle synthétique*, qui doit être distingué de la simple addition de différents modèles (l'un qui viendrait de la culture quotidienne et l'autre de l'enseignement) : dans le cas d'une juxtaposition, la contradiction persiste à l'intérieur du mode de pensée du sujet ; dans le cas de la construction d'un *modèle synthétique* cette contradiction a été résolue d'une façon propre au sujet.

Vosniadou (1994, 1999) insiste sur l'idée que l'incohérence de surface observée chez les élèves résulte en grande partie de leur manque de conscience métaconceptuelle (*metaconceptual awareness*) (ils n'ont pas conscience de la nature hypothétique de leurs connaissances).

Au total, comme on le constate, Vosniadou insiste essentiellement sur la cohérence de l'élève apprenant. Cette cohérence prend la forme d'une résistance au changement qu'apporterait l'enseignement dans le cadre théorique initial de l'élève.

Vosniadou donne quelques exemples de principes constitutifs du " cadre théorique naïf " des élèves ; elle distingue des " présupposés ontologiques " : la solidité des objets (et la Terre en est un), leur stabilité, une organisation spatiale orientée verticalement, une gravité orientée verticalement, " la force (ou la chaleur/le froid) est une propriété des objets " ; et des " présupposés épistémologiques " : " les choses sont ce qu'elles semblent être ", " une explication doit faire intervenir un agent causal " ...

On peut trouver chez Pozo et al. (1999) un autre exemple d'application de ces théories à la recherche en didactique des sciences. Dans le domaine de la structure de la matière qui est la base de la recherche rapportée dans l'article, ce qui est en jeu est le caractère discontinu ou non de la matière sous l'un ou l'autre de ses états. Les auteurs interprètent les productions d'élèves comme résultant de la production de modèles mixtes, mêlant certaines connaissances scientifiques (l'existence de composants microscopiques) et les attributs macroscopiques de la matière (couleur, forme, extensibilité des gaz). Dans ces modèles synthétiques, l'attribution de propriétés visibles aux constituants de la matière correspond pour les auteurs en partie à une ignorance du caractère théorique de ces constituants, confondus avec des objets réels.

diSessa (1993 ; diSessa & Sherin, 1998) a apporté une contradiction essentielle à cette idée fondatrice de la cohérence des conceptions initiales des apprenants, dans la mesure où sa description du système cognitif des apprenants comme "une connaissance en pièces", ensemble de *p-prims* (*phenomenological primitives*) activables suivant la situation, suppose une non-cohérence. Un des enjeux du changement conceptuel selon lui serait au contraire l'augmentation de la cohérence du système cognitif des apprenants. Un point intéressant est que les *p-prims* sont dans le cadre théorique de diSessa toutes mises sur le même plan, sont toutes équivalentes. Au contraire, Vosniadou (1994) prend soin de distinguer deux sortes de conceptions initiales de l'apprenant : les croyances (*beliefs*), qui sont le produit souvent d'observations superficielles et qui peuvent être assez facilement modifiées, et les *présuppositions* qui sont d'un niveau d'abstraction plus élevé et comme telles moins susceptibles de réévaluation.

On peut présenter ainsi les positions théoriques de diSessa :

- Les structures de base de la connaissance chez un individu sont appelées *p-prims*. On parlera par exemple de la *p-prim* "équilibre" (qui dans le domaine de la mécanique implique l'existence de deux efforts opposés qui s'annulent, la possibilité pour l'un de devenir plus important que l'autre et de déplacer en conséquence l'équilibre).
- Un très grand nombre de *p-prims* variées est disponible chez un individu donné à un instant donné. Une bonne partie d'entre elles est générée dans l'enfance. Des influences culturelles s'exercent sur l'utilisation des *p-prims*.
- La désignation d'une *p-prim* par un seul mot est problématique pour le chercheur, et elle est difficilement énonçable par le sujet. Une des raisons est qu'il y a peu de sens à considérer une *p-prim* isolément de plusieurs autres.
- Une situation donnée active une *p-prim* donnée (mais peut-être plusieurs ... voir plus loin le problème de la cohérence).
- Inversement, une *p-prim* donnée peut s'appliquer à plusieurs domaines de connaissances très différents : par exemple "plus d'efforts conduit à plus de résultats"
- Les *coordination classes* sont des ensembles de *p-prims* assez larges ; ce sont des moyens connectés systématiquement de recueillir certaines classes d'information sur le monde. *Coordination* renvoie à la fois à la nécessité de recueillir de multiples aspects de l'information pour qu'elle ait un sens (intégration), et à la nécessité de trouver ce qui est semblable dans cet ensemble d'aspects (invariance).
- Deux composants obligatoires des *coordination classes* sont les stratégies de lecture et le réseau causal.

Des situations différentes, ou des sollicitations différentes du milieu dans la même situation, vont provoquer chez l'apprenant l'activation de *p-prims* différentes. diSessa donne l'exemple suivant : une élève est questionnée sur la trajectoire d'une balle de tennis qu'on tient dans la main et qu'on jette verticalement ; on lui demande d'abord quelles forces s'exercent sur la balle quand elle monte puis descend ; elle répond conformément à la physique enseignée que seule la gravité s'exerce sur la balle : diSessa interprète cette réponse en disant qu'elle fait intervenir la *p-prim* "gravité". On pose alors à l'élève une deuxième question : que se passe-t-il au point où la balle rebrousse chemin ? Elle répond en disant que deux forces s'exercent, la gravité et la résistance de l'air, et que ces deux forces s'équilibrent momentanément, c'est ce qui explique que la balle s'arrête un bref instant avant de redescendre : diSessa interprète ce revirement en disant que la deuxième question a activé la *p-prim* "équilibre".

DiSessa conclue que le type de systématisme dans l'utilisation des *p-prims* n'a rien à voir avec la rationalité scientifique.

DiSessa signale également que les connaissances verbalisées dans un contexte socialisé peuvent être notablement différentes de celles qu'exprime le même individu dans un entretien individuel, parce que dans la négociation collective il a accepté d'exprimer un accord, mais sans changer réellement de position.

On trouvera un exemple intéressant d'application des théories de diSessa à l'apprentissage des notions de propagation des ondes sur une corde chez Wittmann (2002). L'auteur souligne l'intérêt de l'utilisation des *coordination classes* pour l'interprétation des réponses des élèves : cette théorie permet de comprendre comment l'élève peut appliquer un certain type de modélisation pour le problème d'une onde se déplaçant sur une corde, et une autre modélisation quand il s'agit d'un train d'onde ; la théorie attire également, selon l'auteur, l'attention sur l'échelle de temps des raisonnements utilisés par un élève en train de répondre à une question (p. 115). En même temps, il met en évidence certains problèmes de la théorie : qu'est-ce qui motive le choix d'une

p-prim ou d'une coordination class dans une situation particulière ? Des raisons épistémologiques ou des raisons que dans le cadre de la didactique française on rattacherait au contrat didactique (Brousseau, 1986) ? Qu'est-ce qui fait qu'un élève décide de changer de *p*-prim, à un instant donné de son activité ? L'auteur insiste également sur l'utilité de ce cadre théorique pour l'enseignement.

1.4. La perspective de l'intelligence artificielle

Depuis son origine il y a environ un demi-siècle, l'intelligence artificielle s'est intéressée au problème de l'apprentissage (Langley, 1996 ; Michell, 1997). Les raisons en sont multiples. L'une d'elles est évidemment que l'apprentissage semble être une composante primordiale de l'intelligence. Une autre est que plutôt que de postuler des structures cognitives et d'en tester la validité par une démarche par essais et erreurs, il paraît plus fructueux de laisser à des mécanismes d'apprentissage le soin de faire émerger des structures potentielles. Cependant, malgré cette attention portée à l'apprentissage, il faut d'emblée noter que l'intelligence artificielle n'a pas encore réalisé de simulations de l'apprentissage à long terme, simulations qui par exemple pourraient tester la théorie développementale de Piaget. Les modélisations et les simulations restent essentiellement centrées sur une micro-analyse, à la fois parce qu'elles s'appuient sur des mécanismes élémentaires d'apprentissage, mais aussi parce qu'elles s'attachent à des tâches d'apprentissage à très court terme. Que peut alors apporter l'intelligence artificielle au débat sur l'apprentissage de savoirs scientifiques ?

Plutôt que de répondre directement à cette question, il faut d'abord mesurer l'influence de l'intelligence artificielle par la nouvelle perspective qu'elle a contribué à promouvoir, à la fois sur la cognition et sur la possibilité d'une science de la cognition, se prêtant à la fois à des formalisations et à des tests empiriques. En grossissant le trait, l'intelligence artificielle envisage la cognition comme un traitement de l'information, et plus précisément comme le jeu de manipulations réglées portant sur des représentations privées de l'agent cognitif. Les questions portent alors naturellement sur la nature de ces représentations, sur le codage des perceptions dans cette représentation et sur les mécanismes d'inférence que peuvent supporter ces représentations. C'est ainsi par exemple qu'ont été étudiées les représentations à base de formalismes logiques, ou bien les représentations structurées à partir de schémas et de réseaux sémantiques ou bien encore les représentations probabilistes ou par logique floue. Selon ces représentations, un concept pourra être représenté par des conditions nécessaires et suffisantes par exemple, ou par un prototype et une notion de voisinage. Chacune de ces représentations a des propriétés et des conséquences mesurables qui peuvent être testées. De même, le codage des perceptions et des données offre de nombreuses possibilités : codage analogique ou codage par des formules logiques, etc. Finalement, chacun des formalismes de représentation possibles se prête plus ou moins naturellement à des manipulations et donc à des mécanismes d'inférence particuliers. C'est ainsi que les formalismes logiques encouragent l'étude de raisonnements tels que la déduction, l'abduction ou la généralisation, tandis que des formalismes par réseaux sémantiques de schémas supportent facilement des mécanismes de mémoire associative ou des raisonnements à base de prototypes. Fille de l'informatique, l'intelligence artificielle a également adopté l'idée que la complexité peut résulter du jeu d'éléments simples. Par exemple, les connaissances sont supposées pouvoir se représenter à partir de structures formées de "primitives" de représentation, tandis que les processus mettent en jeu des procédures récursives.

Dans cette optique, le raisonnement implique une mémoire à long terme dans laquelle se trouvent les primitives de représentation et les procédures de traitement disponibles, et une mémoire à court terme, ou mémoire de travail, dans laquelle se construisent l'interprétation et la modélisation du monde. Le raisonnement est alors vu comme l'exploration d'un espace d'évolutions possibles de la mémoire à court terme où les opérateurs de changement d'états que sont les mécanismes d'inférence se déclenchent ou non en fonction d'une stratégie de contrôle guidant le raisonnement. L'apprentissage peut prendre trois visages. Premièrement, la simple construction en mémoire de travail d'une représentation du monde est déjà un apprentissage ; deuxièmement, il peut y avoir évolution des primitives de représentation et des procédures de raisonnement dans la mémoire à long terme ; troisièmement, la stratégie de contrôle elle-même peut se modifier. Armée de ces concepts, que sait l'intelligence artificielle sur l'apprentissage ? (Cornuéjols & Miclet, 2002)

Deux démarches ont été explorées simultanément. La première s'est surtout appuyée sur des représentations de "haut-niveau" à base de formalismes logiques et de réseaux sémantiques et s'est essayée à des tâches d'apprentissage tels que l'apprentissage de concepts structurels ou l'apprentissage de plans d'actions par exemple. Les questions abordées portaient à la fois sur les représentations, les mécanismes d'inférences tels que l'induction, la généralisation, l'appariement ou mise en correspondance de connaissances, l'analogie, l'abstraction, la procéduralisation de connaissances déclaratives, etc. Dans ce cadre, l'apprentissage concernait en particulier l'apprentissage de concepts par généralisation à partir d'exemples particuliers, et parfois de contre-exemples. Il portait aussi sur une sorte de compilation des connaissances par apprentissage de macro-opérateurs. Si des simulations informatiques impressionnantes ont été réalisées, elles ont été critiquées sur le fait que bien qu'affirmant tester des principes généraux, elles reposaient de fait beaucoup trop sur des choix ad hoc des concepteurs, et qu'il était donc difficile d'en généraliser la portée. En face de cette approche, la deuxième démarche consiste à se concentrer sur la cognition de "bas-niveau" : la perception et l'apprentissage par

renforcement. Cette approche se fonde sur des simulations à base de réseaux connexionnistes ou de processus markoviens par exemple, qui mettent en jeu des représentations numériques et des procédures de mise à jour des nombres, qu'il est plus difficile de mettre directement en parallèle avec des mécanismes d'inférence. Cependant, cette approche bénéficie à la fois d'être beaucoup plus facilement formalisable par des moyens mathématiques que la démarche plus symbolique, et de conduire à des réalisations importantes, répétables et se prêtant à des applications pratiques. C'est pourquoi depuis environ le milieu des années 1980, l'apprentissage machine, et l'intelligence artificielle en général, s'est progressivement détournée de ses objectifs initiaux qu'étaient la modélisation et l'élucidation de la cognition naturelle, pour se tourner de plus en plus vers une science de l'ingénieur cherchant à résoudre les problèmes posés par les activités économiques.

Actuellement, l'apprentissage machine étudie essentiellement l'induction de concepts ou de lois générales à partir d'exemples tirés aléatoirement dans l'environnement. L'apprentissage y est modélisé comme un processus d'élimination d'hypothèses au sein d'un espace d'hypothèses potentielles donné a priori. L'apprentissage résulte d'un principe inductif dictant par exemple de choisir l'hypothèse qui s'accorde le mieux aux données d'apprentissage, d'une transformation de ce principe en un problème d'optimisation, puis d'un algorithme de recherche effectif de l'hypothèse optimale selon ce principe. Dans ce cadre, la connaissance préalable prend surtout la forme de la donnée a priori d'un espace d'hypothèses. L'apprentissage se fait généralement en une étape, par analyse des données d'apprentissage et recherche de la meilleure hypothèse sur ces données. Il devient ainsi difficile de parler de "connaissances". On ne peut influencer la machine que par la donnée de l'espace d'hypothèses. De même, la machine produit un système qui peut être performant sur la tâche considérée, mais qui souvent n'est pas interprétable car sa réalisation est une matrice de nombres.

Quelle est alors la place de l'intelligence artificielle sur les grands débats de la didactique des sciences : connaissances naïves vs. savoirs scientifiques, novices vs. experts, types d'apprentissage, apprentissages progressifs vs. apprentissage par restructuration profonde, etc.? Elle est pour le moment limitée. Les apprentissages machine étudiés portent sur des acquisitions à très court terme, en une étape, à partir de données reçues passivement par l'apprenant, et de plus supposées tirées aléatoirement, sans faire de place à la multi-modalité possible des informations (données d'ordre visuel, verbales, social, contrat institutionnel, ...), ni aux activités d'apprentissage en groupe. Les hypothèses sur les types de mémoires ou de formes de raisonnement ont été appauvries avec la prédominance actuelle des modèles cognitifs numériques. L'apprentissage est entièrement vu comme une élimination d'hypothèses possibles plutôt que comme une activité de modélisation constructive ou comme un processus de développement. Corrélativement, l'intelligence artificielle ne vise plus à une confrontation avec les données issues de la psychologie, ni même vraiment de la neurobiologie.

Il n'en reste pas moins que les recherches en didactique ne peuvent ignorer l'intelligence artificielle. Outre son apport paradigmatique aux sciences cognitives, elle offre en effet des outils conceptuels et des moyens de simulation permettant de tester des hypothèses sur les micro-mécanismes d'acquisition des connaissances. De manière plus essentielle, elle force à spécifier les modèles dans des termes éventuellement simulables sur machine. C'est déjà un pas considérable, en attendant peut-être un jour une contribution plus importante sur les grandes étapes de l'apprentissage humain.

1.5. La cognition située

Une critique radicale de la problématique exposée précédemment s'est développée, sous la dénomination de *cognition située*, qui consiste essentiellement à dire que l'important n'est pas les représentations ou les modèles mentaux de l'apprenant, mais leur fonctionnalité dans sa relation au monde.

Säljö (1999) la fonde théoriquement de la façon suivante. Pour lui, les concepts sont ce qui nous sert à ne pas être prisonniers de nos sensations. Le développement de l'expertise consiste largement en la capacité d'utiliser nos capacités conceptuelles pour faire des distinctions fines dans des entités qui aux autres paraissent identiques. Les concepts nous permettent également, et grâce à cette caractéristique, d'agir dans des institutions sociales. L'hypothèse de base de la cognition située est donc que les concepts sont des outils linguistiques, et plus exactement discursifs, qui permettent d'agir de façon concrète dans des dispositifs concrets.

Dans cette vision, un concept est certes un outil classificatoire, mais il faut faire attention que la classe en question n'est en général pas définie au sens de la logique mathématique, une fois pour toute, mais en référence à une activité sociale plus ou moins explicitée. Suivant l'activité ou le contexte auxquels on se réfère, l'objet peut changer de classe.

Cela veut dire pour Säljö que la signification des concepts n'est ni dans les objets du monde ni dans notre cerveau, sinon nous serions esclaves de notre appareil perceptif. La classification conceptuelle ne dépend pas de caractéristiques statiques résidant dans les objets, mais de pratiques discursives à propos des objets.

Pour les tenants de la cognition située, la définition des concepts que la psychologie cognitive a construite souffre d'un biais individualiste, qui consiste à considérer les concepts comme des phénomènes mentaux ayant des conséquences sur le comportement des individus, alors qu'ils doivent plutôt être considérés comme des abstractions qui rassemblent les gens autour d'activités coordonnées. La signification des concepts n'est pas

absolue, elle doit être cherchée dans les pratiques sociales qui entourent les concepts. Dans la vision “ claustrophobe ” (Lave, 1988) qui est elle de la psychologie cognitive classique, apprendre un concept est plus se montrer capable de le définir que de l'employer.

Cela va de pair avec l'insistance apportée par les études se réclamant du paradigme de la cognition située, à la part de connaissances conceptuelles présentes dans toute activité manuelle, ce qui revient aussi à s'opposer à la distinction arbitraire entre savoir et savoir-faire.

On ne peut distinguer l'apprentissage individuel de pratiques discursives. C'est ce que signifie la “ nature située ” de la cognition humaine, basée sur l'outil par nature collectif qu'est le langage ou plutôt la communication.

Du point de vue de l'apprentissage, le paradigme de la cognition située est étranger à la problématique du *changement conceptuel* au sens où son objectif n'est pas de définir un résultat mais de définir quelles sont les situations qui entretiennent les conceptions de sens commun, et de chercher quelles situations pourraient faire intervenir les conceptions scientifiques (Hallden, 1999). Le nouveau paradigme peut être décrit comme celui d'une cognition socialement répartie : “ on ne peut plus dire que les étudiants ont des conceptions et que ces conceptions changent ; il n'y a plus que des situations qui peuvent être arrangées de sorte que les étudiants agissent en accord avec certains principes, par exemple les règles acceptées scientifiquement pour étudier et discuter un phénomène particulier ” (Hallden, 1999 p. 53).

Comme tout changement paradigmatique, la cognition située a des conséquences méthodologiques dans l'analyse des comportements observables des apprenants. Un comportement particulier doit être resitué dans une série de comportements qui visent à atteindre un but. Cette série de comportements est une action s'ils traduisent une certaine intentionalité. Une action a des déterminants, soit internes (volontés, croyances, capacités) soit externes (devoirs, normes, opportunités). Une action se déroule dans un contexte, composé d'un contexte cognitif et d'un contexte culturel. Un contexte est un cadre qui entoure l'événement qui est examiné et qui fournit des ressources pour l'interpréter de façon appropriée, c'est-à-dire tendant vers le but qu'on se fixe à son propos. Le contexte cognitif lui-même, qu'on doit utiliser pour traiter telle ou telle question, n'est pas forcément évident. Suivant qu'on prend en compte telle ou telle connaissance, et cette décision peut n'être pas simple même pour des experts, la réponse peut être satisfaisante ou non. Notamment, en fonction des études qu'ils poursuivent par ailleurs, le contexte dans lequel les élèves se placent pour répondre à une question change.

Analyser les réponses des apprenants à une question posée demande en premier lieu de savoir dans quelle logique ils se sont situés pour répondre : est-ce la logique de la vie quotidienne, où ce qui importe est de parvenir à un but qu'on s'est fixé ; ou est-ce la logique “ académique ”, où il s'agit de comprendre et d'appliquer des lois scientifiques du domaine considéré (Hallden, 1999) ? Les réponses peuvent être complètement différentes d'une part, et d'autre part elles peuvent très bien ne rien apprendre sur la compréhension ou la capacité d'application pertinente qu'ils ont acquises des lois en question.

Säljö (1999) insiste sur un deuxième aspect méthodologique : tout entretien d'explicitation doit être considéré comme une pratique communicationnelle dont les résultats doivent être réfléchis à la lumière de l'interaction qui s'est déroulée, et non comme tels. Les concepts doivent apparaître pour ce qu'ils sont, c'est-à-dire des outils sémiotiques que les gens (ici l'apprenant et le chercheur) utilisent pour parler et penser. Ce sont des outils forgés collectivement par les sociétés humaines au cours de siècles de travail, et leur apprentissage est en ce sens un processus de socialisation.

Säljö (1999) tire des conclusions assez radicales : pour lui, la distinction entre connaissances naïves et connaissances scientifiques, en un sens, fait perdurer l'idée que les concepts se jouent dans l'esprit de chaque individu et non dans ses pratiques sociales. Que ces concepts soient spécifiques du domaine (dans le courant théorique du *conceptual change*) ou généraux (comme chez Piaget) est pour l'auteur une différence de degré et non de principe. Dans un cas comme dans l'autre, on reconstitue un monde du domaine, vu comme un ensemble purement cognitif et non comme un champ d'activités sociales. “ Les étudiants sont exposés à des concepts que la science est supposée avoir plutôt qu'à des concepts que les scientifiques utilisent dans des pratiques discursives et des observations concrètes ” (idem, p. 89). Les pratiques discursives, les langages, utilisées dans la vie quotidienne et dans les études scientifiques sont distinctes parce que les buts poursuivis sont distincts. Le terme “ naïf ” dont on affuble le monde de la vie quotidienne est la marque d'un pouvoir qui se constitue et se justifie contre ceux qui ne possèdent pas une expertise.

2. LES MECANISMES DE L'EVOLUTION

Les débats qui ont été rapportés dans la partie précédente, sur la nature de ce qui évolue dans un processus d'apprentissage, ont évidemment eu des correspondances sur la question des mécanismes de cette évolution. Nous envisageons ici un certain nombre de ces mécanismes et des problèmes qu'ils soulèvent.

2.1. Le conflit cognitif comme moteur de l'accommodation

Une des idées héritées de Piaget a été de provoquer l'accommodation du système cognitif des apprenants par la création de *conflits cognitifs*, dont la solution provoquerait un changement conceptuel. Cette idée a été battue en brèche, dans la mesure où on s'est aperçu que lors de conflits cognitifs, l'apprenant mettait en œuvre des stratégies locales de réparations des incohérences qui ne conduisaient pas aux changements plus fondamentaux nécessaires à l'acquisition des concepts scientifiques (Vosniadou, 1999).

2.2. Les formes du changement conceptuel

Si on se place dans le cadre théorique du changement conceptuel, quelles formes ce changement peut-il prendre ? Par ordre de difficulté croissante, Vosniadou (1994) distingue :

- l'enrichissement : une nouvelle information est rajoutée au cadre théorique existant, par simple accréation. Par exemple, quelle que soit leur conception du mouvement de la Lune autour de la Terre, les enfants étudiés par Vosniadou & Brewer (1992) acceptent facilement qu'on leur dise que les taches qu'on voit sur la Lune sont des cratères.
- la révision d'une théorie spécifique : admettre qu'il n'y a pas d'air sur la Lune est déjà plus difficile, si elle contredit une croyance établie.
- la révision du cadre théorique général : c'est le plus souvent très difficile ; ainsi admettre que la Terre soit une sphère alors qu'on a bien l'impression que le sol est en gros plat et que la direction verticale est privilégiée dans les phénomènes du monde réel.

Halden (1999) apporte une vision un peu différente ; pour elle, le changement conceptuel a pu dans la littérature signifier au moins trois processus distincts :

- Abandonner une ancienne conception pour en adopter une nouvelle.
- Adopter une conception complètement nouvelle, sans qu'elle remplace une quelconque idée existante.
- Ajouter à sa gamme une nouvelle façon de voir le monde, qu'on pourra utiliser dans d'autres contextes.

Ces processus impliquent une série de questions :

- Quelles sont les conceptions que l'on souhaite voir triompher ?
- Quelles sont les conceptions qui peuvent réellement triompher ?
- Quelles sont les conceptions qui résultent réellement de l'enseignement, modifiées par le prisme de la compréhension des étudiants ?

2.3. Changement d'ontologies

Un type particulier de changement conceptuel qui a attiré l'attention de la communauté des chercheurs en didactique des sciences est le changement de catégorie ontologique. On peut présenter de façon axiomatique la construction théorique élaborée par Chi (1992) par les énoncés suivants :

- Toute entité est classable dans une catégorie ontologique. Il y a trois grandes classes ontologiques : les entités (objets/substances), les processus (événements/*complex dynamic systems*), et les états mentaux (les états émotionnels/les états cognitifs).
- Une catégorie ontologique est pourvue d'attributs ; par exemple la catégorie " événements " a cinq attributs principaux : il peut y avoir des sous-événements distincts ; un événement est limité dans le temps ; une suite d'événements peut présenter un ordre chronologique ou séquentiel ; il peut y avoir des liens de causalité entre événements ; un événement peut être déterminé par ses buts.
- Face à une situation donnée, l'apprenant attribue à l'entité qui est en jeu des attributs qu'on peut repérer dans son discours, et qui la classent dans une catégorie ontologique. L'entité ou le concept hérite de tous les attributs de la catégorie.
- Les concepts scientifiques appartiennent à des catégories ontologiques particulières.
- C'est le particularisme de la catégorie des concepts scientifiques qui fait que l'apprenant a du mal à les acquérir, parce qu'il les catégorise la plupart du temps comme des événements.
- Chi en conclue qu'il faut donner aux élèves une méta-instruction explicite en même temps qu'on leur enseigne le concept en jeu.

Pour Pauen (1999), le terme *concept* réfère à la signification d'un nom donné, alors que le terme *catégorie* réfère à son application pratique. Par suite, un changement de la signification du concept doit aller de pair avec un

changement de catégorie. La perception de changements est essentielle pour la construction de catégories ontologiques par l'apprenants, et cette clé de construction peut se décliner en trois directions, la causalité, la fonctionnalité et la prédictibilité desdits changements. Les apprenants développent des processus de catégorisation divers en parallèle, en fonction de leurs expériences vécues, et appliquent telle ou telle distinction en fonction de la demande de la situation à laquelle ils sont confrontés. La structure hiérarchisée des catégories ontologiques se transforme en une classification multiple aux liens multidirectionnels, qui autorise des regroupements différents. Pauen interprète de cette façon une citation de Carey (1985) sur les différents sens du mot *animal* : tantôt opérant une classification entre les animaux et les plantes ou les objets inanimés (“ le royaume animal ”) ; tantôt séparant les humains et les animaux (“ ne mange pas comme un animal ! ”) ; tantôt désignant en réalité les mammifères (“ les oiseaux, les serpents, les insectes, et les animaux ”). On pourrait rétorquer que ces expressions ne font que mettre en évidence une polysémie courante dans la vie quotidienne. On peut se demander si ce n'est pas justement le problème de ces classifications ontologiques : à un niveau fin, elles supposent une monosémie des termes désignant les concepts qui ne peut être demandée qu'aux concepts scientifiques, alors même qu'elles prétendent expliquer l'activité langagière d'acteurs qui s'expriment en général dans la langue naturelle.

Dans cette problématique des ontologies, deux types de changement conceptuel peuvent avoir lieu : un concept peut changer de catégorie ontologique, et alors il s'agit d'un changement fort, qui ne laisse plus de place pour la comparaison entre l'ancienne signification et la nouvelle ; il peut changer de sous-catégorie, et le changement est moins fort. “ Le changement conceptuel est interprété comme un processus continu d'enrichissement des connaissances sur différentes classes d'objets et de réévaluation d'aspects spécifiques pour déterminer l'appartenance à une catégorie dans une situation donnée. Les concepts peuvent modifier graduellement leurs significations chaque fois que de nouveaux faits sont intégrés dans les structures de connaissance existantes. Ce qui reste stable, cependant, sont les dimensions qui permettent d'effectuer les coupures fondamentales dans le monde ” (Pauen, 1999 p. 31).

De nombreuses critiques ont été faites à cette problématique. Duit (1999) les résume de la façon suivante :

- Pourquoi choisir trois grandes ontologies, matière, processus, états mentaux, et pas d'autres ?
- L'apprentissage des concepts scientifiques ne se réduit pas à des changements d'ontologies, par exemple au cas où une différenciation est nécessaire (comment expliquer la différenciation entre champ magnétique et excitation magnétique par exemple).
- On reste toujours dans le changement conceptuel “ froid et rationnel ”, c'est-à-dire ignorant de toute affectivité et de tout aspect social.
- C'est une explication syntaxique mais non sémantique des difficultés d'apprentissage.

2.4. L'analogie avec l'évolution des idées scientifiques

Dès le début de la théorisation du *changement conceptuel*, aussi bien chez Carey (1985) que chez Posner & al. (1982), la recherche d'un cadre théorique alternatif aux idées piagetiennes a recouru à l'analogie avec la construction historique d'un corps théorique des sciences, telle que décrite par les épistémologues (Kuhn, 1983 ; Lakatos 1974).

Cette analogie historique a été critiquée de deux points de vue :

- Elle néglige les aspects émotionnels de l'acquisition de concepts scientifiques (Pintrich, 1999)
- Elle néglige les effets de contexte, déterminants dans la compréhension qui est construite d'un concept donné (Hallden, 1999).
- La pertinence de l'analogie entre l'apprenant et le scientifique, entre les communautés scientifiques et les communautés d'apprentissage scolaires reste à démontrer (Duit, 1999).

2.5. Que deviennent les anciennes conceptions ?

Une des questions importantes concernant les modalités de l'évolution conceptuelle (dans le paradigme du changement conceptuel) est celle de ce qu'il advient des conceptions initiales : sont-elles remplacées par les connaissances scientifiques ou y a-t-il coexistence des deux systèmes explicatifs ?

Pozo & al. (1999) commencent d'abord par souligner que depuis quinze ans, “ nous avons accumulé plus d'études sur les idées alternatives [des élèves en science] que nous ne pouvons en lire, comme le montre la bibliographie exhaustive réalisée par Pfundt et Duit (1999) ”. La caractéristique que mettent en avant la plupart de ces études est l'incorrection de ces conceptions initiales vis à vis de la physique. D'autres attribuent l'origine de ces conceptions à des pseudo-théorisations de la vie quotidienne, radicalement différentes des concepts

scientifiques. En tous cas, la plupart de ces études insistent sur la persistance des conceptions initiales même après enseignement. Quant à Duit (1999), il remarque que la plupart du temps le terme “ change ” n’est pas questionné, même si implicitement il signifie remplacement d’une ancienne conception par une nouvelle. “ On doit insister sur le fait qu’il n’y a pas une seule étude recensée dans les deux grandes bibliographies de recherche sur les conceptions des étudiants (Carmichael et al., 1990 ; Pfundt et Duit, 1999) dans laquelle une conception particulière de l’espèce profondément enracinée disparaît complètement pour être remplacée par une idée nouvelle ” (Duit, 1999 p. 270). Le mieux qu’on obtienne est un remplacement “ périphérique ”.

Ainsi donc le changement conceptuel observé se présente non comme un remplacement mais comme le développement de nouvelles idées, valables au moins au début dans d’autres contextes, les anciennes gardant leur validité dans les contextes de la vie quotidienne. On doit avoir pour objectif de rendre les apprenants conscients de cette double validité, et en même temps d’élargir la palette des contextes où les conceptions scientifiques sont pertinentes. On retombe ainsi sur la cognition située, ou la phénoménographie, dans la mesure où ce qui doit changer se situe non seulement dans la tête des individus mais dans leur relation avec le monde.

On peut aussi poser le problème en terme de statut, définie comme la puissance intellectuelle que l’apprenant accorde à ses conceptions, la conception scientifique gagnant en statut ce que la conception initiale perd (voir ci-dessous les positions théoriques de Niedderer et Petri ; voir aussi Hewson & Hewson, 1992 ; Hewson & Lamberger, 2000).

Duit (1999) énumère les raisons suivantes des résistances constatées des anciennes conceptions :

- L’ancrage dans la vie quotidienne des conceptions initiales, en particulier par le rôle du langage maternel (Pfundt, 1981).
- Le fait que certaines conditions du changement conceptuel, parmi celles énoncées par Posner (cf. supra) ne soient pas remplies : pour une conception initiale profondément ancrée dans la vie quotidienne, il n’y a pas d’insatisfaction, parce qu’elle est toujours opératoire dans le champ du quotidien.
- Il peut ne pas non plus y avoir de conception alternative plus scientifique disponible, parce que les schémas hérités de la conception initiale empêchent la compréhension de la nouvelle conception.
- La nouvelle conception peut avoir besoin d’une base de faits minimale avant d’être compréhensible.
- Les facteurs motivationnels peuvent aussi jouer sur le degré d’insatisfaction que l’apprenant peut supporter avant de remettre en cause sa conception. De façon générale et plus large que l’acquisition de concepts scientifiques, tout être humain résiste à changer de position ou de posture psychologique.

Duit (1999) attire l’attention sur un phénomène trop souvent sous-estimé dans les sciences expérimentales : l’inefficacité des preuves matérielles pour induire un changement conceptuel, et même des contre-exemples de type expérimental, qui peuvent toujours être réinterprétés de sorte à maintenir la conception erronée. Duit cite un exemple tiré d’une étude de Tiberghien (1980) sur l’apprentissage des phénomènes liés à l’isolation thermique, où le sujet observé invente une série d’arguments pour expliquer un résultat d’expérience opposé à ce que sa conception initiale lui avait fait prévoir. Chinn et Brewer (1993) ont pu présenter une typologie en sept éléments des façons dont les étudiants réagissent face aux anomalies expérimentales de ce type.

2.6. Changement graduel ou radical ?

Selon Duit (1999), une des idées de base contenues dans le terme *changement conceptuel*, qui semblait être l’objet d’un consensus, est qu’il implique une restructuration importante de la connaissance préexistante. En ce sens, le *changement conceptuel* s’apparente à l’accommodation de Piaget.

Vosniadou (1999) concède qu’au début de son développement, la théorie du changement conceptuel mettait plutôt l’accent sur des changements radicaux du système cognitif. Mais un certain nombre de travaux ont insisté sur la difficulté de mettre en évidence de tels changements de restructuration, les changements les plus fréquemment observés étant plutôt graduels. Elle semble privilégier les changements graduels à court terme qui conduisent à des changements radicaux sur le long terme.

2.7. Le rôle des analogies

Un mécanisme qui a été fréquemment avancé comme susceptible de provoquer des évolutions de conceptions initiales dans un domaine phénoménologique donné, est la constitution d’analogies avec un domaine différent, mais dans lequel l’apprenant était censé posséder un certain nombre de connaissances ou de fonctionnalités. En réalité, cet usage des analogies, bon nombre d’expérimentations didactiques le montrent, est souvent inhibé par une insuffisante connaissance par les apprenants soit du domaine dont on part pour l’analogie, soit des éléments qui permettent les correspondances (Duit, 1999).

2.8. Les conséquences sur les stratégies d'enseignement

Même si les situations d'enseignement, les stratégies qu'elles traduisent, les institutions où elles se mettent en œuvre, relèvent plutôt de la quatrième partie de cette synthèse, il faut mentionner ici quelques conséquences observées dans la littérature des positions diverses qui viennent d'être exposées sur la nature des connaissances qui évoluent et sur les mécanismes d'évolution.

Du point de vue des chemins d'apprentissage, plusieurs stratégies ont été mises en œuvre, différentes d'après Duit (1999) selon la position par rapport aux conceptions initiales. La stratégie du "point de départ sur les conceptions initiales" vise à construire pas à pas la nouvelle conception à partir de sa ressemblance à une ancienne, soit dans le domaine concerné soit dans un autre domaine. La stratégie de la réinterprétation consiste à modifier légèrement le sens accordé à tel ou tel élément de l'ancienne conception ; on peut citer l'exemple de Jung (1986), visant à faire passer l'attribution du caractère de l'impetus (conception classiquement répertoriée en dynamique élémentaire) à la quantité de mouvement plutôt qu'à la force ; un autre exemple est celui de Grayson (1995) en électrocinétique, visant à faire comprendre aux élèves que "ce qui est consommé dans une ampoule n'est pas le courant mais l'énergie".

Dans les stratégies de rupture entre les conceptions initiales et les conceptions scientifiques, le conflit cognitif est toujours sollicité. Duit (1999) distingue trois types de conflit :

- Dans le premier, on installe un conflit entre les prédictions qu'on demande de réaliser d'abord aux apprenants et les résultats des expériences qu'on leur demande de faire.
- Dans le second, le conflit se situe entre les idées de l'étudiant et celles de l'enseignant.
- Le troisième type de conflit met aux prises les idées des étudiants eux-mêmes.

Le problème fondamental de ces stratégies est qu'elles reposent sur l'idée que l'étudiant est conscient du conflit. Or ce n'est pas souvent le cas, en particulier parce que les étudiants n'ont peut-être pas les connaissances suffisantes pour que le désaccord leur apparaisse ou leur semble important.

On retrouve ici une idée cohérente avec la problématique de la cognition située : le fait que le contexte intervienne dans la compréhension d'un fait local a pour conséquence qu'on ne peut pas s'attendre à ce que la compréhension d'un domaine se fasse d'abord par une accumulation de faits ou par une accumulation d'éléments théoriques, mais ne peut procéder que par aller-retours et raffinements successifs (Hallden, 1999). Par ailleurs, c'est un argument pour garder la redondance dans les expositions et dans les activités : cette redondance n'existe que pour l'enseignant, qui a compris la première fois et qui a l'impression de refaire deux fois la même chose ; pour l'élève, les événements cognitifs peuvent changer notablement entre la première et la deuxième fois.

On ne peut donc pas se contenter de parler de changement conceptuel, mais il faut plutôt parler de contextualisation. La difficulté de compréhension des concepts scientifiques est dans cette perspective une difficulté d'accès à des contextes où ils sont indispensables. "Il est très rare, même dans l'enseignement scientifique, que les gens aient accès à des situations où ils puissent faire usage des modes scientifiques de raisonnement dans des pratiques discursives authentiques" (Säljö, 1999 p. 90).

3. LES FACTEURS DE L'EVOLUTION

Reste à évaluer quels peuvent être les facteurs de l'évolution des connaissances, facteurs déclenchant, facilitant ou au contraire inhibant l'évolution. Comme le note Duit (1999), les approches pédagogiques qui se réclament du changement conceptuel (mais ce n'est pas spécifique à cette problématique) sont difficiles à évaluer par la recherche en didactique des sciences car un grand nombre de facteurs sont modifiés en même temps, dans ce qui constitue les "supporting conditions" du changement conceptuel. Il s'agit par nature d'une approche holistique.

3.1. Le contact direct de l'individu avec le monde

Selon Piaget, pour se développer cognitivement, l'enfant doit se confronter à des objets physiques. Cette idée est une conséquence logique de la position piagétienne considérant l'apprenant comme un système cognitif qui réalise son équilibration avec son milieu. On a déjà mentionné plus haut les limites constatées par la recherche en didactique des sciences à cette approche : toute interaction avec le monde est réinterprétée par l'apprenant en fonction de son système de conceptions initiales, ce qui ne garantit nullement la construction d'un sens scientifique à cette interprétation.

3.2. La situation et la didactique

La naissance de la Didactique des Sciences comme discipline scientifique se traduit par une modification dans deux directions des objectifs d'investigation, par rapport aux recherches précédemment menées sur l'éducation scientifique : une plus grande attention portée à l'apprentissage de concepts spécifiques (qui alimenta ensuite le

courant du changement conceptuel), et une investigation plus concrète des mécanismes d'apprentissage. “ Un résultat important fut de montrer que les étudiants apprenaient les concepts et principes scientifiques à un degré limité ” (Duit & Treagust, 1998, p. 5), et qu'on pouvait interpréter leur comportement comme persistance de préconceptions résistantes à l'enseignement. Dès lors naquit l'idée que la didactique des sciences ne pouvait pas faire l'économie de la prise en compte de ces conceptions dans l'étude de l'évolution des apprenants. Une grande quantité de travaux de recherche se fixa alors pour but de mettre au jour ces préconceptions dans tous les domaines des sciences expérimentales. Une synthèse de ces travaux dans des domaines phénoménologiques très divers se trouve dans Tiberghien & al. (1998).

Ces travaux ont constitué le socle sur lequel ont pu se développer des stratégies d'enseignement articulées autour de deux axes : la construction de situations d'enseignement-apprentissage, et la nature des hypothèses mobilisées dans le contenu de ces situations et dans les recherches empiriques auxquelles elles ont donné lieu.

3.2.1. Construire des situations et des séquences d'enseignement-apprentissage

Cette partie concerne plutôt le thème 4 de cette synthèse. On peut simplement attirer l'attention sur l'originalité de la didactique française des sciences, influencée par la didactique des mathématiques (Brousseau, 1986, 1998), en ce qui concerne la rigueur de la description des situations mises en place. Actuellement tend à se développer la mise en place de séquences d'enseignement-apprentissage de longue durée, où les traditions de recherche anglo-saxonne et française se confrontent (Psillos & Méheut, 2001).

3.2.2. Les hypothèses sous-tendant les recherches et les constructions de situations

On peut classer les recherches empiriques en didactique des sciences en deux catégories suivant qu'elles s'appuient principalement sur des hypothèses de nature épistémologique ou sur des hypothèses d'apprentissage.

Dans la première catégorie on citera les travaux de Martinand et de son équipe (Martinand, 1986, 1994 ; Luc et Durey, 1997), de Viennot et de son équipe (Viennot, 1996 ; Kaminski, 1991 ; Méheut, 1996, 1997, 1998).

Dans la deuxième catégorie on citera les travaux de Tiberghien et de son équipe (Tiberghien, 1994, 1996, 1997 ; Le Maréchal & al., 2001), basés sur la priorité donnée aux processus de modélisation à la fois du point de vue de la physique enseignée et du fonctionnement cognitif des élèves. On peut mentionner également les travaux des équipes rassemblées autour de Niedderer et von Aufschnaiter à Bremen.

L'équipe rassemblée autour de Hans Niedderer à l'IPN de Bremen a mené depuis les années 1980 des recherches sur la compréhension des concepts de la physique par les élèves dans différents domaines : la mécanique (Schecker, 1985), la physique atomique (Bethge, 1988), les circuits électriques (Niedderer & Goldberg, 1995). A partir de ces études empiriques, un cadre théorique a été développé sur le fonctionnement cognitif d'un apprenant en physique, décrit comme un système cognitif en interaction avec son environnement, muni d'éléments stables profonds et de constructions plus éphémères (Niedderer & Schecker, 1992). Classer un élément cognitif comme élément stable suppose que le chercheur soit capable d'identifier son intervention dans les constructions éphémères qui correspondent à un certain nombre de situations s'étalant sur une durée assez longue.

Ce cadre théorique permet d'appréhender le problème de l'apprentissage par la thématique du “ learning pathway ”, décrite comme “ une séquence d'états métastables du système cognitif individuel ” (Petri & Niedderer, 1998, p. 1075), comme une vue “ stroboscopique ” (idem, p. 1076) du chemin que suit l'apprenant confronté à une séquence d'enseignement donnée (dans le cas de cet article, un modèle quantique des atomes conduisant à la notion d'orbitales et de liaison chimique par recouvrement des orbitales).

Un point intéressant dans cette optique est la définition des “ attracteurs cognitifs ” comme une catégorie particulière de conceptions, qu'on retrouverait dans les “ learning pathways ” suivis dans des séquences d'enseignement différentes. Petri et Niedderer donnent comme exemple la conception des “ orbites floues ” (*smearred orbits*) : la conception que peut mettre en œuvre un apprenant à partir de la vision planétaire classique de l'atome, quand on ajoute par l'enseignement la notion de probabilité de présence et le principe d'Heisenberg. Ils considèrent que c'est un attracteur cognitif parce qu'on peut y rattacher des conceptions observées dans des séquences d'enseignement distinctes étudiées par plusieurs auteurs.

La conclusion de ce travail sur le modèle quantique de l'atome est que coexistent à la fin de l'enseignement dans le système cognitif de l'apprenant des conceptions diverses, à qui les auteurs attribuent des *forces* et des *statuts* différents. Une conception est dite plus forte qu'une autre quand elle est employée par le sujet préférentiellement dans une situation nouvelle ; c'est le cas de la conception initiale de l'apprenant étudié, la vision planétaire classique de l'atome. Mais aux yeux de l'étudiant lui-même, les différentes conceptions ont des statuts scientifiques inégaux : le modèle du nuage électronique est considéré par l'étudiant comme plus scientifique et plus puissant, parce que capable d'expliquer la formation des liaisons chimiques.

Von Aufschnaiter et son équipe adoptent pour leur part un point de vue strictement conforme au cadre théorique de la cognition située pour leur étude de l'apprentissage de la physique : “ nous supposons que dans chaque nouvelle situation des séquences de nouvelles significations sont produites qui coordonnent les perceptions, les hypothèses et les actions qui se déroulent, à la suite d'un processus en spirale continu dépendant du contexte : action 1 → perception 1 → hypothèse 1 → action 2 → perception 2 → hypothèse 2 → action 3 et ainsi de suite ” (Welzel, 1998 p. 1108). Que la première implication entre “ action 1 ” et “ perception 1 ”, ou même la façon dont l'action initiale est conduite par l'apprenant puisse être influencées par son expérience antérieure ne semble pas entrer en ligne de compte dans ce point de vue : elles sont soumises uniquement à l'environnement de la situation, caractérisé à la fois par les interactions sociales et par les artefacts mis à disposition de l'apprenant.

L'activité cognitive des apprenants est reconstituée par le chercheur sous forme d'ensemble d' “ idées ” qui sont la base des analyses ultérieures. Ces “ idées ” font l'objet d'une classification hiérarchique par “ complexité ” croissante, suivant dix catégories ou niveaux allant des “ objets ” aux “ systèmes ”. L'apprentissage et la construction de sens par l'apprenant s'accompagnent d'une complexité croissante des “ idées ” par lesquelles on peut décrire son activité cognitive.

Au cours d'une séquence d'enseignement relativement longue, il y a apprentissage au sens où de semaine en semaine la complexité des idées manipulées dans une séance donnée augmente (Welzel, 1998, p. 1110).

3.3. Les interactions sociales et le langage

L'œuvre de Lev Vygotsky a été la source d'un “ courant vygotkien ” en psychologie, qu'on désignera par l'expression “ psychologie socioculturelle ”, et qui exerce une influence croissante sur les recherches en didactiques des sciences depuis une dizaine d'années en France, un peu plus longtemps dans les pays anglo-saxons.

L'idée centrale de la psychologie socioculturelle est que le fonctionnement et le développement des fonctions psychologiques supérieures de l'individu (dont évidemment le maniement des connaissances conceptuelles scientifiques) dérivent des interactions sociales (Scott, 1998). Dans ce paradigme, le problème de l'apprentissage des concepts scientifiques est celui de l'internalisation au plan intrapsychique d'un discours d'abord situé au plan interpsychique.

Pour que cette internalisation ait lieu, l'individu doit être aidé. Selon la vigoureuse formule de Bruner (1985, p. 32) “ il n'y a aucune façon, aucune, pour qu'un être humain puisse maîtriser ce monde sans l'aide et l'assistance des autres, parce qu'en fait ce monde c'est les autres ”. Toutefois cette aide ne peut se concevoir comme une transmission, qui ne produirait pas la construction attendue du sens. Celui qui aide doit se situer dans une zone où un développement est à la fois possible avec une assistance et impossible sans cette assistance : la Zone Proximale de Développement de Vygotsky.

Mais les opérations intellectuelles ne sont pas du tout pour Vygotsky des expressions d'un calcul logique : ce sont “ des processus pour donner un sens à l'expérience ”, ce qui requiert à la fois l'usage du langage et une compréhension minimale du contexte culturel dans lequel ce langage est utilisé. “ Le développement mental consiste à maîtriser des structures symboliques d'ordre plus élevé, instanciées culturellement... qui ne sont pas seulement appropriées [par l'individu apprenant] à partir de l'outillage de la culture et de son langage, mais qui sont dépendantes d'une interaction sociale continue ”. Le passage d'un système de niveau moins élevé à un niveau plus élevé se fait par une sorte de digestion de l'ancien par le nouveau : “ Une fois qu'une nouvelle structure a été incorporée à sa façon de penser [celle de l'enfant apprenant]... elle s'étend graduellement aux concepts anciens au fur et à mesure qu'ils sont attirés dans les opérations intellectuelles du type le plus élevé ” (Vygotsky, 1997).

Le point central pour l'économie de cette conception de la pensée est que l'apprenant, en incorporant par le biais du langage des connaissances culturellement situées, incorpore du même coup les mécanismes (langagiers et cognitifs) qui lui permettent dans une certaine mesure de se libérer du carcan de sa culture.

Dès lors, dans cet espace de liberté peut apparaître le concept le concept de Zone Proximale de Développement (ZPD). “ La ZPD est l'écart entre ce qu'on peut faire par soi-même, sans aide, et ce qu'on peut faire avec les conseils et l'assistance de quelqu'un qui sait déjà ”. Et ce quelqu'un, le tuteur, a un rôle crucial à jouer, puisqu'il doit estimer ce que l'apprenant est capable d'accepter de la culture qu'il a à transmettre, pour que le processus de développement soit possible.

3.4. La problématique vygotkienne appliquée aux interactions scolaires

Les chercheurs qui se sont situés dans cette problématique ont évidemment étudié le rôle social de l'enseignant comme fournisseur d'aide à l'élève dans le contexte social de la classe, tel qu'il existe dans les sociétés européennes essentiellement. On peut structurer ce rôle autour de trois lignes de force (Scott, 1998) : les formes

de l'intervention pédagogique ; les fonctions du discours de l'enseignant ; l'étayage que procure le discours de l'enseignant.

3.4.1. Les formes de l'intervention pédagogique

Les didacticiens des sciences, ou les psychologues qui se sont intéressés aux interactions de l'enseignement-apprentissage, et qui se réclament de l'héritage vygotkien ont élaboré un certain nombre de descriptions des formes d'intervention de l'enseignant, cohérentes avec l'idée que la construction des connaissances résulte de l'interaction sociale entre enseignants et élèves.

Edwards et Mercer (1987) utilisent le niveau de contrôle exercé par le discours de l'enseignant comme critère de classification. Ce contrôle qu'exerce l'enseignant consiste à institutionnaliser ce qui constitue dans la vie de la classe (en particulier dans les productions verbales des divers acteurs) des événements communs, et des significations communes pour les éléments du savoir en jeu. Ces auteurs distinguent, dans l'ordre de contrôle croissant :

- L'explicitation des contributions des élèves ;
- Le marquage des connaissances importantes ;
- L'explicitation des contributions des élèves avec approbation ou correction implicite ou explicite, verbale ou non-verbale ;
- La paraphrase des contributions des élèves ;
- Des récapitulations constructives du sens ;
- La transmission directe (le " cours " habituel).

Lemke (1990) part de l'idée qu'apprendre la science implique apprendre à " parler science ", " communiquer dans le langage de la science et agir comme un membre de la communauté qui pratique ce langage ". Cet auteur analyse le discours qui se déroule dans la classe comme constitué de deux composantes, une structure d'activité qui décrit l'organisation de l'interaction sociale dans la classe, et une structure thématique, ensemble de relations sémantiques qui constitue le contenu véhiculé par ce discours.

Lemke décrit deux types de structures d'activités, ou stratégies, que les enseignants utilisent pour aider à la construction des structures thématiques : les stratégies dialogiques et les stratégies monologiques, suivant que le discours qui se déroule en classe est principalement une alternance de tour de parole entre différents locuteurs, ou que l'enseignant est le seul locuteur quasi exclusif ; chaque type de stratégies est subdivisé en sous-catégories.

Parmi les stratégies dialogiques, Lemke distingue les catégories ci-dessous :

- Les *séries de questions de l'enseignant*, qui dans son optique sont une forme dialoguée de cours, et qui fonctionnent pour autant que les élèves donnent des réponses correctes du point de vue de la thématique mise en jeu ;
- La *sélection-modification* des réponses des élèves ;
- La *recontextualisation rétroactive*, qui replace une réponse d'élève dans un autre contexte et change par là même son sens ;
- La *construction conjointe*, où les interventions de l'enseignant et des élèves participent également à la construction thématique.

Parmi les stratégies monologiques, Lemke distingue les catégories suivantes :

- *L'exposition logique* organise logiquement un ensemble d'éléments thématiques ou de relations entre éléments ;
- La *narration* énonce un certain nombre d'événements ou de faits, instituant du même coup un ordre chronologique et souvent causal entre eux ;
- Le *résumé sélectif* rappelle certains éléments énoncés antérieurement, choisis de façon pertinente pour le développement du thème, en éliminant d'autres ;
- La *mise en perspective* est une autre variante du résumé, qui attribue un rang d'importance, explicitement ou implicitement, aux éléments que l'enseignant récapitule.

Scott (1997) a développé un cadre théorique voisin pour décrire les formes d'intervention pédagogiques, qui distingue cinq catégories :

- *Le développement de l'axe conceptuel* : par une série de techniques, l'enseignant place les idées émises en classe dans l'axe thématique qu'il souhaite enseigner ;

- *Le développement de l'axe épistémologique* : cette idée, qui correspond à un courant de recherche important en Grande-Bretagne (Driver & al., 1996), avance que l'apprentissage de notions scientifiques est inséparable d'un apprentissage sur la nature de la connaissance scientifique, et que cet aspect doit aussi être pris en charge par l'enseignant ;
- *Le développement d'une signification partagée* dans la classe : l'enseignement ne peut pas progresser sans consensus minimal parmi l'ensemble des participants à l'interaction (enseignant et élèves) sur le sens des connaissances mises en jeu ;
- *La vérification de la compréhension* des élèves : on peut considérer que cette forme d'intervention est liée dialectiquement à la précédente, dans la mesure où l'enseignant, par des techniques diverses, doit s'assurer que le sens débattu par le groupe classe est internalisé par chaque individu, que le passage de l'intersychique à l'intrapsychique se réalise effectivement ;
- *Le maintien de la cohésion de la narration* : le déroulement de la séquence d'enseignement est vu ici comme un ensemble de parties qui doivent impérativement être reliées entre elles pour que le sens soit construit ; l'enseignant a donc des tâches spécifiques pour assurer cette relation.

On peut faire deux remarques sur ces références. D'une part on peut constater une évolution qui porte sur la portée des formes d'intervention décrites et considérées. Edwards et Mercer s'attachent à des échanges locaux, instantanés, alors que Lemke et surtout Scott prennent en compte la durée d'une séquence d'enseignement, comportant une série de leçons entre lesquelles il faut établir une cohérence par des résumés, des mises en perspectives (Lemke) ou des lignes conceptuelles ou épistémologiques ou narratives (Scott).

D'autre part, si ces trois catégorisations décrivent certes une relation d'interaction entre l'enseignant et les élèves, cette interaction est très déséquilibrée : son origine et son moteur est toujours l'enseignant, et surtout aucune théorisation n'est faite sur les conséquences de ces interventions de l'enseignant sur les apprentissages ou même l'activité de l'élève. On peut estimer qu'il s'agit là d'une conséquence naturelle de l'importance donnée dans les perspectives vygotskiennes au langage, en particulier au discours de l'enseignant, dans la construction des connaissances. Il n'empêche qu'il semble y avoir ici un champ à explorer pour la recherche.

3.4.2. Fonction institutionnalisante ou fonction dialogique du discours

Le terme "institutionnalisante" veut ici traduire l'expression anglo-saxonne consacrée par la littérature "*authoritative function*". On notera le déplacement significatif qu'introduit cette traduction : le terme *authoritative* renvoie au fait que l'enseignant est détenteur d'une autorité personnelle que lui donne sa compétence, et qui fait que son discours dit ce qui doit être ; le terme "institutionnalisante", qui constitue un écho de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986), fait aussi référence à l'inscription de l'acte pédagogique dans une *institution scolaire* qui participe de l'autorité de l'enseignant. Comme c'est souvent le cas, affleure ici une différence entre une tradition didactique française marquée par le poids de l'institution scolaire, et une tradition anglo-saxonne où l'intervention d'un appareil institutionnel est plus discrète, qui met donc plus en avant les rapports interpersonnels dans l'acte d'enseigner.

Toutes les formes d'intervention pédagogique qui viennent d'être énumérées reposent sur la réalité plus ou moins cachée de l'autorité et du pouvoir dans la classe. L'interaction enseignant-élève est par nature dissymétrique de ce point de vue, et non seulement du point de vue des connaissances, même si la compétence supposée de l'enseignant légitime son pouvoir de gérer le discours de la classe.

Aussi ce discours, comme tout texte que l'enseignant peut mettre à disposition des élèves, peut-il remplir deux fonctions, "source d'autorité vs. moyen de persuasion" (*authoritative vs. internally persuasive*), pour reprendre la terminologie de Bakhtine (1981), ou "canal de communication vs. outil de réflexion" si on se place dans une problématique de transmission de l'information (Scott, 1998).

Du point de vue de la synthèse ici entreprise, l'important est l'influence que tel ou tel type de discours peut avoir sur l'activité cognitive de l'élève. On pourrait faire par exemple l'hypothèse qu'un discours univoque, institutionnalisant, provoquerait une acceptation assez passive de l'information, alors qu'un mode de discours dialogique permettrait une discussion intrapsychique plus poussée, facilitant l'incorporation aux connaissances déjà acquises. Des recherches récentes (Mortimer, 1998 ; Scott, 1997) conduisent à une conclusion plus nuancée : le développement de la pensée conceptuelle au plan intrapsychique aurait besoin d'une alternance, judicieusement dosée, de discours institutionnalisant et de discours dialogique ; en particulier le discours institutionnalisant fournirait la base solide de connaissances antérieures socialement admises sur laquelle une argumentation et une construction dialogique des nouvelles connaissances pourrait se développer.

3.4.3. L'étayage

Le terme métaphorique "d'étayage" n'est pas utilisé par Vygotsky lui-même, mais il décrit une préoccupation qui est au cœur de sa réflexion, celle de l'aide qu'un tiers apporte à l'apprenant, en lui permettant de réaliser avec cette aide ce qu'il est incapable de réaliser seul.

Le terme d'étayage a connu une grande vogue assez rapidement après son emploi par Bruner (1985). Au point que dix ans plus tard Mercer (1995, p. 74-75) éprouvait le besoin de délimiter plus rigoureusement sa portée, sous peine de lui faire perdre son intérêt scientifique : limiter son champ d'application aux phénomènes d'apprentissages scolaires, dans des situations où le tuteur ne s'occupe pas d'un seul élève, mais où l'élève est en situation d'accomplissement d'une tâche bien déterminée. Un caractère essentiel de l'étayage dans cette problématique est qu'il doit être accompagné d'un contrôle permanent de l'enseignant, qui permette une modulation de l'aide en fonction des besoins de l'élève ; à long terme, l'objectif de l'étayage est qu'on puisse s'en passer, c'est-à-dire que l'enseignant abandonne progressivement son intervention dans la réalisation de la tâche par l'élève.

Au final, l'inflexion qu'introduit la psychologie socioculturelle dans le champ des théories de l'apprentissage consiste en un déplacement des préoccupations : elle prétend qu'il ne suffit pas de décrire le savoir en jeu ou les dispositifs pédagogiques ou didactiques installés pour le faire acquérir, ou encore les évolutions individuelles des apprenants, car le discours de l'enseignant qui entoure ce dispositif a des effets au moins aussi importants sur l'apprentissage réalisé que le dispositif lui-même.

Au point où en est la recherche dans le champ de l'application de cette psychologie socioculturelle à l'éducation scientifique, on pourrait lui faire deux critiques principales. D'une part, elle n'a pas encore bien réussi à faire le lien entre des considérations générales sur la nature du discours de l'enseignant et la nature du savoir en jeu : par là elle reste très "pédagogique" et peu didactique. D'autre part, si dans les études récentes le discours de l'enseignant est analysé de façon très fine et cohérente avec ce cadre théorique, la relation entre ce discours de l'enseignant et l'apprentissage réalisé chez l'apprenant est très peu développée.

4. QUELQUES REMARQUES DE CONCLUSION

Pour Vosniadou (1999), les perspectives souhaitables de développement de la recherche sur le *changement conceptuel* seraient un rapprochement entre les deux types de traditions de recherche précitées, la psychologie développementale et la didactique des sciences. Ce rapprochement doit être conduit par une théorie de l'apprentissage, précisant des facteurs qui influencent cet apprentissage. Le développement de la théorie du *changement conceptuel* l'amène inévitablement à tenir compte des conditions de son déclenchement, en particulier les influences de la situation et de la culture. Il y a donc pour Vosniadou compatibilité entre l'instauration par la psychologie cognitive d'un niveau des modèles mentaux et l'étude des facteurs situationnels et culturels ou langagiers.

Il n'est pas évident que les tenants de la cognition située partagent cette position...

Duit (1999), pour sa part, insiste sur l'idée que discuter de l'efficacité d'une stratégie constructiviste en la comparant à une stratégie classique ou traditionnelle est dépourvu de sens, car elles n'ont pas en réalité les mêmes buts. Tout ce qu'on peut faire est estimer si chaque stratégie atteint les buts qu'elle se fixe. Il faut également prendre en compte que la plupart des recherches se sont déroulées dans des conditions telles que la robustesse des résultats reste à assurer plus complètement que cela n'a été fait. Néanmoins les premiers résultats qu'on peut attribuer aux stratégies constructivistes sont encourageants.

Bibliographie

- Bakhtine, M. M. (1981). *The dialogic imagination : four essays by M.M. Bakhtine*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- Bethge, T. (1988). *Aspekte des Schülervorverständnisses zu grundlegenden Begriffen der Atomphysik*. Unpublished Thèse, Université de Brème, Brème.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques*, 7(2), 33-115.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Bruner, J. (1985). Vygotsky : a historical and conceptual perspective. In J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and cognition : Vygotskian perspectives* (pp. 21-34). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carmichael, P., Driver, R., Holdings, B., Phillips, I., Twigger, D., & Watts, M. (1990). *Research on students' conceptions in Science: a bibliography*. Leeds: University of Leeds.
- Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories : examples from learning and discovery in Science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of sciences*. (pp. 129-186). Minneapolis: The university of Minesota Press.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition : a theoretical framework and applications for Science Education. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Cornuéjols, A., & Miclet, L. (2002). *L'apprentissage artificiel : Concepts, méthodes et applications*. Paris: Eyrolles.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 & 3), 105-225.
- diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change ? *International Journal of Science Education*, 20, 1155-1191.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms : a review of literature related to concepts development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duit, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263-282). Amsterdam: Pergamon Press.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in Science. From Behaviourism towards Social Constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Edwards, D., & Mercer, N. M. (1987). *Common knowledge: the development of understanding in the classroom*. London: Methuen.
- Feyerabend, P. (1956). *Contre la méthode*. Paris: Seuil.
- Grayson, D. (1995). Improving science and mathematics learning by concept substitution. In D. Treagust & R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (pp. 152-161). New York: Teacher College Press.
- Guillaume, P. (1940-1941). L'intelligence sensorimotrice d'après Jean Piaget. *Journal de psychologie*, 214-240.
- Hallden, O. (1999). Conceptual change and contextualisation. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 53-65). Amsterdam: Pergamon Press.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik und Chemie*, 34, 2-6.
- Kaminski, W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Unpublished Thèse, Université Paris VII, Paris.
- Kuhn, T. S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Lakatos, I. (1974). Falsification and the methodology of scientific research programs. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-196). Cambridge: Cambridge University Press.
- Langley, P. (1996). *Elements of Machine Learning*. San Mateo, Calif : Morgan Kaufmann.
- Lave, J. (1988). *Cognition in Practice*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Le Marechal, J. F., Buty, C., & Tiberghien, A. (2001). Constructing teaching sequences: what are the grounding choices? In D. Psillos & P. Kariotoglou & V. Tselfes & G. Bisdikian & G. Fassoulopoulos & E. Hatzikraniotis & M. Kallery & A. Kross (Eds.), *Proceedings of the third international conference of ESERA* (pp. 236-238). Thessaloniki: ART OF TEXT publications.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science: language, learning and values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Luc, C., & Durey, A. (1997). Modèles et modélisation dans les séquences de Travaux Pratiques sur le haut-parleur en classe de seconde. *Didaskalia*, 11, 39-73.

- Martinand, J. L. (1986). *Connaitre et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux sur la modélisation dans la perspective du développement de curriculum ? In Jean-Louis Martinand (coord), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 115-125). Paris : INRP.
- Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulaire cinétique de gaz au collège. *Didaskalia*, 8, 7-32.
- Méheut, M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases : The parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, 19, 647-660.
- Méheut, M. (1998). *Construire et valider des séquences d'enseignement*. Unpublished Habilitation à diriger des recherches en didactique des sciences physiques, Université Paris 7, Paris.
- Mercer, N. M. (1995). *The guided construction of knowledge*. Clevedon: Multilingual Matters Ltd.
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse : an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), 67-82.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. *Zeitschrift für Didaktik des Naturwissenschaften*, 1, 73-86.
- Niedderer, H., & Schecker, H. P. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in learning physics. In R. Duit & F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 74-98). Kiel: Institut für Die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Pauen, S. (1999). The development of ontological categories : stable dimensions and changing concepts. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 15-31). Amsterdam: Pergamon Press.
- Petri, J., & Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088.
- Pfundt, H. (1981). Die Diskrepanz zwischen muttersprachlichem und wissenschaftlichem " Weltbild " : ein Problem der Naturwissenschaftsdidaktik. In R. Duit & W. Jung & H. Pfundt (Eds.), *Alltagsvorstellungen und Naturwissenschaftlicher Unterricht* (pp. 114-131). Köln: Aulis.
- Pfundt, H., & Duit, R. (1999). *Bibliography : Students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Germany: Institut für Die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Genève: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1976). Autobiographie. *Cahiers Alfredo Pareto, Geneve, Droz, T. 14*, 38-39, 1-43.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Genève: Delachaux et Niestlé.
- Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 33-50). Amsterdam: Pergamon Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception : toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Pozo, J. I., Gomez, M. A., & Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement : different representations for different contexts. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 161-174). Amsterdam: Pergamon Press.
- Psillos, D., & Meheut, M. (2001). Teaching-learning sequences as a means for linking research to development. In D. Psillos & P. Kariotoglou & V. Tselves & G. Bisdikian & G. Fassoulopoulos & E. Hatzikraniotis & M. Kallery (Eds.), *Proceedings of the third international conference of ESERA* (pp. 226). Thessaloniki: ART OF TEXT publications.
- Säljö, R. (1999). Concepts, cognition and discourse : from mental structures to discursive tools. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 53-65). Amsterdam: Pergamon Press.
- Schecker, H. P. (1985). *Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*. Unpublished Thèse, Université de Brème, Brème, Allemagne.
- Scott, P. H. (1997). *Developping Science concepts in secondary classrooms : an analysis of pedagogical interactions from a Vygotskian perspective*. Unpublished PhD thesis, University of Leeds, Leeds, UK.
- Scott, P. H. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms : a Vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32, 45-80.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive psychology and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany, NY: SUNY.

- Tiberghien, A. (1980). Modes and conditions of learning - an example : the learning of some aspects of the concept of heat. In F. Archenhold & R. Driver & A. Orton & C. Wood-Robinson (Eds.), *Cognitive Development. Research in Science and Mathematics* (pp. 288-309). Leeds: the University of Leeds.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction. Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.
- Tiberghien, A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In G. Welford & J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe* (pp. 100-114.). London: Falmer Press.
- Tiberghien, A. (1997). Learning and teaching : differentiation and relation. *Research in Science Education*, 27(3), 359-382.
- Tiberghien, A., Jossem, L., & Barojas, J. (Eds.). (1998). *Des résultats de recherche en didactique de la physique à la formation des maîtres* (<http://gric.univ-lyon2.fr/gric3/ressources/ICPE/francais/BOOKS.html> ed.): International Commission on Physics Education.
- Toulmin, S. (1973). *L'explication scientifique*. Paris: Armand Colin.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique (la part du sens commun)*. Bruxelles: de Boeck Université.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual Change Research : State of the Art and Future Directions. In W. Schnotz & S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 3-13). Amsterdam: Pergamon Press.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth : a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (3ème ed.). Paris: La Dispute.
- Welzel, M. (1998). The emergence of complex cognition during a unit on static electricity. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1107-1118.
- Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses : analyzing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97-118.

THEME 3

ARTICULATION ENTRE DIFFERENTS TYPES DE CONNAISSANCES

Janine Rogalski,

Laboratoire Cognition & Activités Finalisées, FRE 2308 CNRS, Université Paris 8

Laurent Veillard,

UMR GRIC, CNRS – Université Lumière Lyon 2

*Avec les contributions de **Robert Bouchard** (UMR GRIC, CNRS – Université Lumière Lyon 2) pour la partie sur le langage, de **Emmanuel Sander** (laboratoire cognition et activités finalisées - FRE 2308 CNRS, Université Paris 8) qui a contribué à la partie sur le transfert et **Minna Puustinen**, (UMR GRIC, CNRS – Université Lumière Lyon 2) qui nous a aidé dans la synthèse des travaux sur l'auto-régulation.*

1. INTRODUCTION

Comme on l'a vu dans le deuxième chapitre de cette synthèse, il y a aujourd'hui une position assez largement partagée par les psychologues et les didacticiens quant à la coexistence de connaissances naïves et de connaissances scientifiques chez un apprenant, même à un niveau avancé de ses apprentissages d'un domaine scientifique. Mais le problème de l'articulation de ces deux types de connaissances du point de vue de leurs influences mutuelles à un moment donné et au cours de leurs évolutions à plus long terme n'a pas encore véritablement été étudié. Pour cette raison, il nous semble intéressant de se pencher sur les travaux de recherche abordant la question plus générale de l'articulation entre différents domaines ou types de connaissances et des processus, médiations ou outils généraux de cette articulation. Ces recherches peuvent constituer des points de repère importants pour traiter la question plus précise de l'articulation entre connaissances naïves et connaissances scientifiques.

Dans ce troisième chapitre, nous avons à la fois tenu compte des synthèses, bilans, revues de questions, et conduit un processus de "sondage" dans un panorama le plus souvent très peu homogène — qu'il s'agisse des disciplines de recherches, de leurs visées épistémiques ou pragmatiques, des supports de publication—, en recherchant alors des indices de problèmes intéressants à transformer en questions de recherche.

La première partie de notre propos sera consacrée à la question du découpage en types de connaissances. En effet, avant d'aborder l'articulation proprement dite de différents types de connaissances, il nous semble qu'il convient de s'interroger sur les critères qui fondent la distinction entre ces différents types ou domaines de connaissances que l'on peut qualifier par exemple de discipline savante spécifique, de connaissances professionnelles, quotidiennes (ou ordinaires) ou scolaires. On verra que les travaux traitant des liens entre différents domaines restent souvent très imprécis quant à ces critères. Cette réflexion nous permettra de préciser ceux que l'on mobilisera dans ce chapitre pour délimiter des domaines de savoirs.

Dans les trois parties suivantes, nous nous pencherons sur le rôle des processus et outils généraux dans l'articulation entre les différents types de connaissances : le transfert, les connaissances qualifiées de "méta" (représentations et connaissances portant sur le savoir et les relations sujet / savoir), le langage et d'autres systèmes de représentation symbolique.

Enfin, dans la dernière partie de ce chapitre, nous verrons les recherches qui se sont penchées plus directement sur l'articulation de savoirs de différents champs disciplinaires ou professionnels. Si la problématique du transfert, de la métacognition, des instruments cognitifs est indépendante du découpage retenu en termes de types de savoirs, il n'en est pas de même de la problématique de l'articulation "directe" entre types de savoirs, qui présuppose une typologie. Nous avons retenu celle des savoirs disciplinaires (scolaires), et celle des savoirs professionnels. À partir de ce découpage, nous traiterons successivement de l'articulation entre savoirs disciplinaires, puis de l'articulation entre savoirs professionnels et savoirs disciplinaires. Précisons que, même si cette synthèse est centrée sur les savoirs hors des mathématiques, l'articulation entre différents types de savoir

ne peut ignorer cette discipline omniprésente dans les autres disciplines scientifiques (au-delà d'ailleurs de celles sur le monde matériel).

Avant d'aller plus loin, il est important de préciser que les recherches portant directement sur ces thématiques sont dispersées, à la fois en ce qui concerne les communautés de recherche, les supports de publication les problématiques elles-mêmes et les domaines de connaissances étudiés. Par exemple le transfert a davantage été étudié entre problèmes à l'intérieur d'une même discipline que du point de vue du passage de la résolution de problème dans un domaine à celle dans un autre. De plus, les recherches sur le transfert (soit sous cette entrée thématique "transfert", soit par l'intermédiaire de recherches sur la régulation de l'activité de résolution de problèmes, et/ou de l'acquisition de connaissances) couvrent très inégalement les différents contenus disciplinaires. Les recherches où on trouve probablement la plus grande connexité de travaux sont en didactique des mathématiques et en psychologie¹.

Cet état de la recherche sur cette question de l'articulation a deux conséquences : il y a beaucoup de problèmes ouverts et relativement peu de synthèses, et il est le plus souvent difficile d'identifier des travaux "phares". On a choisi de faire référence à des travaux de recherche qui sont un exemple de données empiriques liées à une question, ou qui donnent des indices pour élaborer des hypothèses ouvrant potentiellement le champ à d'autres recherches (même si ce n'était pas le point sur lequel les auteurs se focalisaient).

Nous reviendrons en conclusion sur ce qui ressort de ce tour d'horizon que nous avons choisi très large. Nous relèverons en particulier les thèmes des recherches qui seraient à développer pour apporter plus de réponses que de questions sur l'articulation de différents types de connaissances.

2. QUEL DECOUPAGE, QUELLE TYPOLOGIE DES SAVOIRS ?

Si le découpage disciplinaire peut s'imposer a priori, quelle est sa pertinence ?

Une première réserve quant à cette pertinence nous vient de l'histoire des sciences et des techniques. À l'évidence, les dénominations et les frontières entre disciplines ont fortement évolué au cours de l'histoire. De nouveaux champs de recherche sont apparus (bio-technologies, informatique, etc.). Des concepts ont migré d'une discipline à l'autre (Stengers, 1987). Des champs professionnels se sont peu à peu "savantisés" et constitués en domaine de recherche reconnus (Génie des procédés, par exemple). Si bien que les éléments (objet(s) étudié(s) ; concepts ; pratiques méthodologiques ; etc.) constituant chaque domaine ou discipline sont bien souvent instables sur la longue durée, sujets à re-discussion (renégociation) plus ou moins fréquente et la cohérence d'ensemble du domaine ou de la discipline évolue.

Une seconde réserve est apportée par les didactiques disciplinaires, qui, reprenant le travail initié par le sociologue Verret (1975) sur les savoirs scolaires (Chevallard, 1985 ; Johsua & Johsua, 1987 ; 1988 ; Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998) ont montré, à partir de nombreux exemples, l'écart important qui existe entre le savoir savant et le savoir tel qu'il est enseigné, écart que l'on retrouve, bien sûr, au niveau des contenus, mais parfois même au niveau du découpage disciplinaire. Par exemple, les évolutions constatées dans le champ de la recherche scientifique se propagent très différemment : évolutions légèrement décalées (en général) pour ce qui est de l'enseignement en université (en particulier après le DEUG), nettement plus décalées dans l'enseignement des lycées, et peu sensibles au collège et en primaire (là où se prépare sans doute l'attrait ou la répulsion pour les études scientifiques et techniques). En particulier le fait qu'il y a des enseignants qu'il a fallu former et recruter introduit plus de continuité que de discontinuité (les biotechnologies sont enseignées par des enseignants de biologie par exemple). Le cas de l'informatique (discipline) est instructif : cette discipline, développée comme science dans les années soixante "The science of programming", n'a pas réussi à s'implanter même dans les

¹ La didactique des mathématiques comme science des procédés didactiques ou épistémologie expérimentale s'est plutôt développée autour de conceptualisations de la communauté française et de la communauté allemande. La psychologie de l'enseignement des mathématiques regroupe une communauté internationale très large mais avec d'importantes interactions scientifiques, dans la mesure où les problématiques circulent en particulier à travers des conférences annuelles. Les recherches en psychologie de l'éducation ou en sciences de l'éducation sont plus dispersées dans leurs contenus et leurs problématiques s'agissant des domaines scientifiques, techniques et professionnels.

lycées (après une expérimentation pourtant positive de l'option informatique), c'est seulement comme outil qu'elle est reconnue².

Enfin, une troisième réserve peut être tirée des études qui se sont penchées sur les pratiques ou l'activité des experts et même des apprenants. Ainsi, les travaux en sociologie des sciences (avec le travail initial de Latour & Woolgar, 1988) ont montré que les sphères savantes ne sont pas des lieux où l'on trouve uniquement des connaissances scientifiques. Les chercheurs sont aussi des professionnels avec des compétences aux composantes complexes (routines, connaissances théoriques, connaissances sociales, pratiques empiriques, etc.). De leur côté, les compétences des experts professionnels quels qu'ils soient (industrie, services, enseignement, etc.) sont tout aussi complexes et peuvent en particulier comporter des concepts savants et des tours de main s'écartant des procédures rationnelles prévues par les concepteurs d'une organisation.

Il y a donc une différence à faire entre d'une part les connaissances mobilisées dans l'activité (du chercheur, de l'ingénieur, de l'apprenant) et d'autre part le savoir savant tel qu'il apparaît dans les textes de référence et tel qu'il fonctionne dans des modèles scientifiques.

En résumé, il semble donc qu'il y ait plusieurs types de découpage possibles.

— Un découpage **social** renvoyant à des institutions, des groupes ou encore des réseaux sociaux où le savoir vit et se transforme. Les objets, contenus et formes des savoirs sont stabilisés (et déstabilisés) par des négociations entre les acteurs liés à ces institutions, sphères ou réseaux. Un savoir peut migrer d'une sphère à l'autre ou se propager dans un réseau mais subit alors souvent des modifications. On trouve ici l'approche anthropologique de Chevallard (1985), avec en particulier la notion de transposition lorsque le savoir passe d'institutions dont les finalités sont différentes : production du savoir, utilisation ou enseignement. Les approches sociologiques comme celle de Bourdieu (1992, 2001), basée sur la distinction entre des champs sociaux, lieux de luttes symboliques entre des agents dotés de positions institutionnelles et de capital scientifique, ou celle de Latour (1989), mettant en évidence, par un travail ethnographique, les réseaux socio-techniques de la science et le rôle des artefacts et des processus d'inscription dans l'activité de production de connaissances, renvoient aussi à ce type de découpage, de même que les propositions du philosophe Kuhn (1983) sur les paradigmes dominants liés à des acteurs dominants de la recherche.

— Un découpage **épistémologique** se justifiant par une distinction fondée sur les différences entre les disciplines du point de vue des objets étudiés ainsi que des concepts et des méthodes d'expérimentation utilisés dans chacune d'elles. C'est à ce type de découpage que se réfèrent souvent les études sur l'articulation entre différents types de connaissances. Reste qu'une analyse épistémologique n'est pas toujours conduite préalablement pour dégager ce qui fonde les différences épistémologiques entre les différentes disciplines objet de l'analyse.

— Un découpage qui distingue différents types de connaissances en fonction de critères plus proprement **cognitifs**. On pourrait classer ici les distinctions entre connaissances procédurales et déclaratives, connaissances en acte, connaissances et métaconnaissances (Piaget, 1974 ; Flavell, 1977 ; Valot, 1998, 2001), entre connaissances fonctionnelles et métafonctionnelles, ou encore d'autres essais de distinction des connaissances en fonction de leur rôle dans l'action. On pourrait aussi considérer les connaissances opérationnelles pour un type de tâches (Rogalski, 1995). Reste que de telles distinctions sont souvent remises en cause, faute de critères suffisamment robustes pour les justifier dans certaines situations.

Pour cette synthèse, on retiendra un découpage de type épistémologique, modulé par les fonctions du savoir et les institutions dans lequel il vit.

3. LE RÔLE DU TRANSFERT DANS LES ACQUISITIONS

Les recherches sur le transfert, sont centrales, car elles apportent des éléments importants sur les conditions dans lesquelles des apprentissages dans un domaine peuvent produire une modification des connaissances dans un autre domaine. Le transfert peut être considéré comme un des processus en jeu dans l'évolution des connaissances (si on centre la problématique sur le sujet apprenant dans un domaine " cible ") ou du point de vue de l'articulation entre types de connaissances (dans une problématique plus orientée vers le passage des acquis d'un domaine à un autre). On peut aussi le considérer comme un outil dans l'intervention didactique.

² Un article récent de Baron et Bruillard (2001) fait un point sur la place de l'informatique dans la formation actuelle au lycée.

Une récente synthèse de la littérature sur le sujet (Bransford & Schwartz, 1999), dégage deux manières d'envisager le transfert :

- le transfert comme utilisation directe de connaissances mobilisées dans un premier domaine pour une activité dans un second domaine ;
- le transfert comme résultat d'un processus de changement à la suite d'une activité dans un premier domaine, qui permet d'aborder de manière différente un second domaine.

Nous allons traiter successivement ces deux points dans ce qui suit.

3.1. Le transfert comme utilisation de connaissances

La première, fidèle aux premiers travaux de Thorndike et ses collègues, définit le transfert comme l'utilisation réussie de connaissance(s) (concept et/ou méthode) acquises précédemment, dans une nouvelle situation. De nombreuses recherches ont été conduites selon un tel paradigme, notamment dans le cadre des travaux sur le raisonnement par analogie (Holyoak & Thagard, 1995 ; Sander, 2000).

Les principaux résultats obtenus indiquent que le transfert dépend de plusieurs facteurs.

— Un niveau d'apprentissage suffisant dans la situation de départ. Ceci peut sembler évident, mais des recherches ont tiré des conclusions erronées quant à des difficultés de transfert parce que la situation " source " n'avait pas donné lieu à un apprentissage suffisamment solide (Bassok & Holyoak, 1993). Le critère expérimental le plus fréquemment utilisé, qui est la capacité de répliquer la mise en oeuvre d'une procédure, apparaît insuffisant pour attester de l'acquisition des connaissances sources.

— Les types de connaissances enseignées. Plusieurs recherches montrent que l'apprentissage de concepts ou d'une décomposition du but à réaliser en sous buts est plus favorable au transfert que l'apprentissage d'une série de procédures (Catrambone, 1995)

— La manière dont les connaissances sont enseignées qui renvoie à la dialectique contextualisation / décontextualisation. L'utilisation de la résolution de problèmes et d'exemples concrets sont des éléments favorables au transfert (Ross, 1989). Plus les problèmes et les exemples sont multiples et différents, plus le transfert est favorisé (Catrambone & Holyoak, 1989) car la variété des situations d'apprentissage permet la construction de schémas suffisamment généraux pour s'appliquer à la nouvelle situation. A l'inverse, une trop forte contextualisation des connaissances peut freiner le transfert (Spencer & Weisberg, 1986; Bransford & Schwartz, 1999). En revanche, proposer des instanciations pour une présentation de la source effectuée à un niveau abstrait peut être productif de transfert, plus précisément quand il y a des exemples "externes" où l'on donne des exemples de la source, et "internes" où on encourage les apprenants à élaborer leurs propres exemples concrets (Chen & Daehler, 2000).

— Le niveau d'abstraction des connaissances joue aussi un rôle. Une représentation appropriée d'un problème source favorisera le transfert des connaissances mobilisées pour le résoudre. Il existe un niveau d'abstraction optimal auquel il est utile de se représenter le problème pour favoriser le transfert. A un niveau plus spécifique, des différences non pertinentes seront des freins au transfert et à un niveau trop général, des éléments importants de la situation source ne seront pas pris en compte et ne pourront donc pas être utilisés lorsqu'ils sont pertinents dans la situation nouvelle.

— Le type de similitude existant entre les situation(s) source(s) et la situation nouvelle. Des éléments superficiels du point de vue de la résolution du problème, en ce qu'ils peuvent être modifiés sans que soient modifiés ni le but ni la procédure de réalisation, influent sur le transfert : ils favorisent l'évocation d'une source et l'utilisation d'une source lorsqu'ils sont partagés et freinent le transfert lorsque ce n'est pas le cas (Gentner, 1989). Des similitudes superficielles non corrélées avec des similitudes structurales conduisent fréquemment à des transferts négatifs qui se traduisent par la mise en oeuvre de la procédure de résolution non adéquate apprise dans la situation source (Ross, 1984, Novick, 1988). Ce n'est qu'à partir d'un certain niveau d'expertise que des similitudes structurales sont utilisées comme indices de récupération d'une source (Novick, 1988).

— Une aide des sujets à un niveau métacognitif. Si l'on aide les sujets à prendre du recul, à améliorer leurs stratégies de résolution de problèmes, on peut favoriser le transfert (ce point est traité dans la partie sur la métacognition, *infra*).

3.2. Le transfert comme résultat d'un processus de changement

Une seconde approche critique les principes des études classiques. Si ces travaux concluent à la rareté du transfert, c'est parce que la méthodologie utilisée pour tester le transfert de connaissances n'est pas bonne. Il ne faut pas seulement se focaliser sur la mobilisation ou non mobilisation, dans une "situation cible" d'une connaissance apprise par un passage dans une "situation source", mais s'intéresser aux changements générés par l'apprentissage initial sur la capacité d'apprentissage ultérieur. Défini de cette façon, le transfert apparaît beaucoup moins rare que dans l'approche précédente. En particulier, l'apprentissage par une série de cas contrastés semble apporter des résultats très intéressants sur la capacité ultérieure d'un individu à apprendre.

En conclusion, la question du transfert peut être mise en relation avec deux autres problématiques :

- l'acquisition de compétences "transversales" (méthodes de résolution de problèmes, méthodes d'expérimentation ou d'observation, alphabétisation scientifique (*scientific literacy*), développement de l'auto-contrôle de l'apprentissage (*self-regulated learning*), et plus généralement acquisition de connaissances "métacognitives") ;
- le transfert entre des lieux de production et d'utilisation de la connaissance, problématique qui rejoint la question des relations entre connaissances naïves, connaissances "quotidiennes" et connaissances professionnelles, que nous développons plus loin.

La problématique de l'acquisition de compétences transversales rejoint celle des instruments cognitifs (langue et autres systèmes de représentation symbolique). Elle peut aussi prendre le point de vue de l'acquisition de compétences "transversales", développées dans un domaine et transposées à un autre, ce qui conduit aux travaux sur l'éducabilité cognitive. Sur ce point, les travaux de Loarer, Lautrey et Huteau (1998), en France, montrent les limites du transfert des acquis et les effets d'autres facteurs que ceux invoqués par les tenants de cette éducabilité générale. Dans la partie suivante, nous allons développer plus précisément le rôle de la métacognition dans l'articulation entre différents savoirs et leur acquisition.

4. LE ROLE DES CONNAISSANCES " META "

Plusieurs catégories de questions peuvent être posées sous le thème des connaissances "méta". Une première ligne de questionnement concerne les théories épistémologiques des apprenants, leurs effets sur leurs apprentissages dans un domaine et l'impact de ces apprentissages sur les acquisitions ultérieures dans d'autres domaines. Elle inclut la question de l'existence de représentations sur le savoir scientifique comme entité au-delà des savoirs disciplinaires spécifiques. Les connaissances de nature méthodologique relèvent de cette ligne (bien que l'acquisition de méthodes puisse aussi être étudiée du point de vue du transfert). Une seconde ligne est celle des représentations du sujet sur ses propres connaissances et sur les (ou ses) processus d'apprentissage dans leurs liens avec les acquisitions dans différents domaines, en particulier scientifiques. La problématique de l'auto-régulation des apprentissages relève de cette ligne.

4.1. Les représentations sur la connaissance scientifique

Que sait-on, via des recherches, sur les représentations des élèves sur ce qu'est une connaissance scientifique ?

4.1.1. L'apprentissage de stratégies.

Cette question a d'abord été abordée pour la résolution de problème. Elle peut être regardée sous l'angle du transfert dans la résolution de problème, ou sous l'angle de l'acquisition d'une connaissance "méta" particulière qu'est une méthode de résolution³. L'apprentissage de stratégies de compréhension dans la lecture a également été l'objet de recherches, dans le cadre, abordé plus loin, de l'auto-régulation.

Un premier développement de recherches sur l'impact de l'enseignement de stratégies de résolution de problème, dans le cadre théorique des recherches sur la métacognition, a globalement conduit à des résultats

³ Le précurseur en la matière est Polya, en ce qui concerne la résolution de problèmes mathématiques et le raisonnement dans la recherche de solutions. (Polya, G. (1962, 1964). *On understanding learning and teaching problem-solving (La découverte des mathématiques: une méthode générale, traduction française 1967, Dunod)*. New-York: Wiley & Sons. Polya, G. (1958). *Les mathématiques et le raisonnement "plausible"*. Paris: Gauthier-Villars.)

limités. L'enseignement de méthodes générales de résolution de problèmes —libres de contenu— s'est avéré globalement peu producteur. Cela a conduit à l'enseignement de méthodes beaucoup plus spécifiques, en mathématiques en particulier (Schoenfeld, 1985). Une recherche comme celle de Robert et Tenaud (1988) s'est située dans un cadre où un ensemble de conditions —que nous détaillons ci-dessous— ont été réunies pour un enseignement de méthodes spécifiques. On peut supposer que lorsqu'un tel ensemble de conditions n'est pas rempli, il est peu probable d'avoir un effet sensible d'un enseignement méthodologique, même spécifique (sauf dans le cas d'élèves avec des problèmes particuliers), si l'on considère qu'une méthode ne consiste pas seulement en une stratégie de résolution à apprendre mais intègre aussi une organisation du contrôle de sa propre activité de résolution (Reid & Borkowski, 1987).

En fait, l'enseignement des méthodes de résolution de problèmes de géométrie en classe de terminale scientifique, a eu lieu dans un contexte fortement organisé en vue de produire un impact sur les élèves (en termes de résolution de problème, en "amont" de la rédaction des solutions). Ce contexte se caractérisait de la manière suivante :

- 1) travail en petits groupes, permettant de donner des problèmes plus "riches" du point de vue d'une variété d'approches et plus difficiles, motivant la mise en oeuvre d'une méthode (l'investissement dans la tâche semble en effet plus grand lorsqu'il y a interaction au sein d'un petit groupe que dans une recherche en solitaire ; inversement, on peut motiver un investissement dans une tâche plus difficile via ce travail en groupe) ;
- 2) contrat précis d'interaction groupes / enseignant, celui-ci ne répondant à la demande d'un groupe que dans deux situations : existence d'une solution proposée par le groupe, ou situation de blocage interne ;
- 3) enseignement de méthodes comportant une instrumentation, avec en particulier, la donnée initiale d'un "herbier" de configurations géométriques particulières liées à des problèmes de géométrie, "herbier" que les élèves devaient enrichir au cours de leur recherche de problèmes.

4.1.2 Les représentations sur les savoirs (*epistemological beliefs*)

Les représentations des élèves sur les savoirs ont été étudiées essentiellement du point de vue de leur impact sur les apprentissages dans un domaine, et pas du point de vue de leurs effets transversaux à plusieurs disciplines scientifiques. Ainsi un article de Viennot (1993) fait le point sur la manière dont les étudiants comprennent les relations entre grandeurs physiques en fonction du temps. Elle rappelle que, de manière générale, dans les explications de phénomènes en fin de secondaire scientifique on observe le rôle important d'une "mise en histoire", particulièrement lorsque le problème est présenté en terme de transformation, associée à l'évocation d'un agent humain. De là viendrait la "séduction des explications basées sur un raisonnement "linéaire causal", ou même, seulement en résonance avec lui, l'impression de comprendre" (pp. 24-25).

Un autre composant du "méta" du point de vue de la connaissance scientifique est celui du traitement des observables et de la prise en compte des conflits ou contradictions. Une question transverse aux différents domaines de savoirs est celui du rôle des données "atypiques" (anormal data). Elle a été l'objet d'une recherche menée sur des élèves de collège, à propos du changement de théorie sur de sujets controversés, en l'occurrence dans ce cas, l'extinction des dinosaures et la construction des pyramides de Giseh. L'auteur conclut d'une analyse des corrélations que c'est l'acceptation des données atypiques qui contribue le plus à un changement de théorie (Mason, 2000). Legrand, dans un bilan sur des situations d'introduction du cadre de la logique à partir du débat scientifique (Legrand, 1990), donne des exemples analogues sur le fait que la manière dont un élève ou un étudiant se soumet aux faits (inattendus comme résultats de sa propre activité) est un indicateur diagnostique de son épistémologie personnelle. Il distingue une épistémologie personnelle scientifique (conforme au fonctionnement des communautés scientifiques), une épistémologie "scolaire" de soumission à la lettre du contrat didactique, et une épistémologie "quotidienne" dont la logique de la pertinence et de l'utilité se distingue de la logique de la validation scientifique. L'épistémologie personnelle et les connaissances des apprenants sur le savoir font partie des connaissances "méta", en ce sens qu'elles portent sur le domaine scientifique (ou technique, ou professionnel) considéré en tant que tel (et non plus sur l'un particulier de ses objets). On peut interroger les recherches sur le "méta" du point de vue des possibilités qu'un changement de représentation ou de positionnement par rapport à un domaine donné puisse avoir des effets dans un autre domaine, même si leur propos est différent. Ainsi on peut inférer du bilan de Viennot l'hypothèse plausible que l'approche d'un domaine qui renforce l'idée de causalité séquentielle ne peut favoriser le changement exigé d'un autre domaine. La question de l'effet inverse (dépasser l'idée de causalité séquentielle dans un domaine et voir

s'il y a effet dans un autre domaine) reste plus problématique, en particulier du fait que les représentations épistémologiques peuvent différer fortement entre disciplines⁴.

4.2. Représentation de ses connaissances et représentation du processus de l'apprentissage

De façon générale, comme dans les autres recherches sur les métaconnaissances, les recherches sur l'impact de la représentation de ses propres connaissances et de comment on apprend se sont souvent développées dans un domaine particulier, ou à propos de processus très généraux (mémorisation par exemple).

Toutefois des travaux en psychologie sociale ont montré l'impact sur la performance de la présentation d'un même problème comme relevant d'un domaine valorisé (la géométrie) ou non valorisé (le dessin) selon que l'élève s'y considère comme "bon" ou non (et l'est effectivement) (Monteil & Huguet, 1991 ; Monteil, Brunot & Huguet 1996). Une autre recherche récente a montré que les représentations sur l'apprentissage et la profondeur de la compréhension de textes scientifiques sont liées (Chan & Sachs, 2001). Dans un domaine non scolaire, celui de l'usage de l'informatique, l'auto-évaluation de sa connaissance s'est avérée un prédicteur de l'expertise dans l'utilisation d'un traitement de texte (Vu, Hanley & Strybel, 2000). La question reste ouverte quant au fait que ce type de représentation, pourrait avoir des effets transversaux sur d'autres domaines.

A l'heure actuelle, parmi les champs de recherche dans ce domaine des métaconnaissances les travaux sur les théories de l'esprit et ceux sur l'apprentissage autorégulé sont particulièrement productifs et prometteurs.

Les théories de l'esprit sont d'une certaine manière le prolongement des travaux réalisés sur la métacognition. Il s'agit en effet d'étudier " les connaissances et les représentations dont l'enfant dispose, à différents moments de son développement, à l'égard du fonctionnement cognitif (ce qui était déjà l'objet des recherches sur la métacognition) mais aussi, plus largement, à l'égard du fonctionnement psychologique général des êtres humains " (Melot, 1993, p. 582). Il s'agit donc là des connaissances "naïves" sur un domaine particulier : celui de la cognition humaine, qui relève des domaines de sciences humaines que nous n'avons pas retenus pour cette synthèse.

L'apprentissage autorégulé, quant à lui, réfère aux façons dont les individus régulent leurs propres processus cognitifs dans des contextes éducatifs (Zeidner, Boekaerts, & Pintrich, 2000). Il existe plusieurs modèles d'apprentissage autorégulé dans la littérature. Une récente synthèse (Puustinen & Pulkkinen, 2001) a montré que tous les modèles distinguent globalement trois phases dans le processus d'apprentissage autorégulé. La phase préparatoire consiste à analyser la tâche, à planifier et à fixer des objectifs. Elle implique, d'une part des connaissances (méta)cognitives, motivationnelles et émotionnelles sur soi-même, d'autre part des connaissances sur la tâche et la situation. La phase de la résolution de problème proprement dite réfère à l'utilisation des stratégies de résolution de problèmes ainsi qu'à des activités de monitoring et de contrôle " *on-line* ". La dernière phase est celle d'évaluation des résultats et du feedback. Le processus est cyclique car l'évaluation est à son tour supposée influencer la phase de préparation suivante (id.p. 280). Les travaux sur l'apprentissage autorégulé se sont principalement orientés vers des questions motivationnelles d'une part, vers les facteurs liés à l'utilisation des stratégies d'autre part. Il ressort globalement des différents travaux que l'utilisation des stratégies, tout en conduisant à de meilleures performances, reste corrélée avec des facteurs motivationnels tels que le sentiment d'auto-efficacité personnelle.

De tels processus génériques pourraient a priori être transverses aux différents domaines de savoir, et acquis durant le travail dans un domaine, se manifester de manière positive dans les autres. Toutefois, dans le tour d'horizon qu'elle propose sur le concept d'auto-régulation, Boekaerts (1997) met en avant l'importance des connaissances préexistantes comme " *an essential and powerful ingredient* " (un ingrédient essentiel et puissant). Elle souligne aussi que les stratégies d'apprentissage apprises dans un domaine ou dans des conditions particulières ne sont pas généralisées à des situations légèrement différentes. Elle l'explique par le fait que "la connaissance enseignée reste une connaissance implicite. Elle n'est pas aisément accessible, car les élèves n'ont pas construit de répertoire de stratégies cognitives qui soit instrumental pour cette nouvelle connaissance" (nous

⁴ Un élément en ce sens est le résultat d'une recherche sur les théories épistémologiques personnelles d'étudiants, qui montre que s'il y a une dimension commune sous-jacente à ces théories, elles sont aussi marquées par des différences disciplinaires, en particulier en ce qui concerne le rôle de l'expérience propre "de première main dans la connaissance, ou de l'importance des experts.

traduisons). Les acquis antérieurs en matière de métaconnaissances jouent également un rôle dans des apprentissages nouveaux de stratégies. Ainsi, une étude longitudinale conduite avec des élèves de 9-10 ans sur l'apprentissage de compréhension dans la lecture et de résolution de problème en mathématiques montre que les compétences métacognitives repérées deux années plus tôt chez les élèves sont associées à l'efficacité dans la résolution de problème et la compréhension en lecture (Vauras, Kinnunen, & Rauhanummi, 1999). Toutefois la position initiale par rapport au méta est un élément dont dépend étroitement la réactivité à l'apprentissage ultérieur. On peut considérer qu'on retrouve ici quelque chose pour la métacognition qui a la propriété de la zone proximale de développement de Vygotski.

D'autres études indiquent que la discipline en tant que telle semble jouer un rôle dans ce processus. Ainsi, Van der Stoep, Pintrich et Fagerlin (1996) ont montré que, comparés à des étudiants faibles, les bons étudiants en psychologie et en biologie étaient plus motivés, utilisaient plus de stratégies et avaient plus de connaissances sur le domaine. En revanche, cette différence n'a pas été retrouvée dans une discipline comme l'anglais (Puustinen & Pulkkinen, 2001, pp. 275-276).

Il est intéressant de remarquer que les études sur le "méta" sont conduites à des niveaux d'âge et de scolarité très variables, et que l'effet de cette variable composée n'est guère un objet de recherche, hors du champ du développement⁵. Un schéma est proposé par Borkowski (1996) : le développement de la capacité d'autorégulation commence lorsque les enfants apprennent à utiliser une stratégie. Progressivement, ils apprennent à connaître les attributs de cette stratégie particulière. Avec le temps, ils apprennent à utiliser d'autres stratégies, et en les appliquant dans des contextes divers ils élargissent et enrichissent leurs connaissances stratégiques. L'autorégulation entre en jeu lorsque les enfants deviennent capables de choisir des stratégies appropriées et de contrôler leurs activités "on-line". Lorsque les processus stratégiques et autorégulateurs sont bien établis, les enfants apprennent à reconnaître l'utilité des stratégies. En même temps, les perceptions du sentiment d'auto-efficacité et les "attributional beliefs" (croyances d'attribution) se mettent en place, créant ainsi un lien entre l'utilisation des stratégies et les facteurs personnels et motivationnels (Puustinen & Pulkkinen, 2001, p. 272).

On voit qu'on peut attendre des différences dans l'impact d'une intervention didactique en vue d'un apprentissage auto-régulé selon les acquis antérieurs de l'apprenant, à la fois en termes de connaissances du domaine, et de métaconnaissances (sur le domaine comme sur les processus cognitifs en jeu), et en termes plus généraux de son développement.

5. LE ROLE DE LA LANGUE ET DES SYSTEMES DE REPRESENTATION SYMBOLIQUES COMME INSTRUMENTS COGNITIFS DANS LE DEVELOPPEMENT DES SAVOIRS

Le problème de l'instrumentalité des outils transversaux, dont on peut supposer qu'ils jouent un rôle pour faciliter les apprentissages dans différents domaines de connaissances, ne se pose pas seulement pour les composantes du "méta", mais aussi à propos des systèmes de représentations symboliques, et au premier chef de la langue "naturelle". La langue et les systèmes de représentations symboliques peuvent être considérés comme des vecteurs communs des savoirs, en particulier comme des moyens de pensée et d'expression de l'élève dans les différents domaines de savoir. Ils peuvent alors constituer *a priori* des facteurs privilégiés dans le développement et dans l'articulation des différentes sortes de savoirs, dans la mesure où ce sont des outils puissants de décontextualisation de ces savoirs. *A contrario*, on peut faire l'hypothèse que des compétences limitées dans leur utilisation contribuent à freiner l'utilisation d'un savoir acquis dans un domaine ou un contexte particulier.

Certains travaux réalisés dans différentes disciplines nous semblent présenter un intérêt évident pour alimenter le travail important restant à faire sur ce sujet.

⁵ Robert & Robinet (1996) explicitent l'hypothèse que le travail "méta" peut être effectué en mathématiques avec des élèves de l'enseignement post-obligatoire (lycée en France, à l'époque de leur recherche, ou sinon sections spécialisées scientifiques), mais qu'il n'est pas évident qu'il puisse en être ainsi dans l'enseignement obligatoire. Il faut souligner que la thématique de l'auto-formation (voisine et développée antérieurement à celle sur l'auto-régulation de l'apprentissage) est issue de problématiques éducatives dans la formation continue, destinée à des professionnels, adultes.

Dans une première partie, centrée sur le langage oral et écrit, nous verrons tout d'abord que les propositions théoriques de Vygotski (1997) sont prometteuses pour envisager ce genre de questions relatives au rôle de la langue et des systèmes de représentations symboliques dans l'articulation entre types de savoirs. Mais il reste une réflexion méthodologique à conduire pour pouvoir la décliner en expérimentations. Il apparaît également que les recherches s'interrogeant sur le fonctionnement du langage dans les interactions ordinaires ou en situations de travail apportent des débuts de réponse aux questions posées ci-dessus. Enfin, les études sur le langage écrit, à la fois du point de vue de son rôle dans la création des connaissances scientifiques mais également dans la compréhension de problèmes, de consignes ou de concepts sont tout aussi intéressantes et ouvrent sur la question de leur place dans l'intervention didactique.

Dans une seconde partie traitant des autres systèmes de représentations symboliques (en fait principalement des représentations graphiques tels que schémas, dessins techniques, graphiques..), nous verrons l'évolution des recherches, d'abord très centrées sur la recherche des causes des difficultés de lecture ou d'élaboration de schémas, graphiques ou autres dessins en termes de mécanismes cognitifs généraux, vers une prise en compte plus large de facteurs tels que le poids des connaissances de l'apprenant dans le domaine considéré, les règles de fonctionnement propre de ces systèmes de représentation graphique, ou encore les buts ou finalités poursuivis par le concepteur et par l'utilisateur de la représentation graphique.

5.1 La langue orale et écrite

5.1.1 L'évolution des instruments langagiers depuis l'enfant jusqu'à l'adulte

Le rôle de la langue dans l'acquisition des sciences et des techniques va varier suivant l'âge et le type de maîtrise linguistique auquel cet âge donne accès. Cette perspective relève certes directement des thèmes 1 et 2, mais la langue, et les autres systèmes sémiotiques peuvent aussi être considérés du point de vue de leur rôle d'instrument commun dont l'acquisition dans un domaine pourrait faciliter le rôle dans un autre domaine de savoir : c'est une question encore ouverte.

On pourrait distinguer, au risque de simplifier, quatre étapes dont les possibilités se cumulent progressivement, les premiers moyens d'acquisition ne disparaissant jamais mais se complexifiant au contact avec ceux venant ultérieurement.

- Une acquisition sinon des sciences et techniques du moins des "connaissances naïves" avant le langage chez le très jeune enfant, grâce à l'interaction avec le milieu naturel, qu'il soit ou non médiatisé par les adultes proches.
- Une acquisition, qui se déroule sur une période plus longue, grâce aux possibilités nouvelles rendues disponibles par le langage et les interactions verbales (Vygotski, 1997) permettant de cumuler à sa propre expérience, celle de ses proches. Dans cette étape, comme au cours de la précédente, c'est essentiellement l'apport de la langue naturelle dans la construction chez l'enfant d'un savoir partagé avec sa communauté d'interaction qui est en jeu. Les études (cf. thème 1) concernent essentiellement la sémantique des noms. A notre connaissance, les études sur les acquisitions de modalités ou de connecteurs n'ont pas été mises en relation avec les connaissances.
- Une acquisition plus tardive encore des sciences et des techniques, à l'âge scolaire, grâce à la langue orale et écrite, qui a essentiellement lieu dans les institutions d'enseignement. A cette étape il y a aussi de nombreuses représentations symboliques et encore plus actuellement avec l'usage des ordinateurs (simulations, etc.). Cet élargissement de l'expérience de l'enfant lui donne progressivement accès à des discours, des connaissances et des comportements spécialisés construits à partir d'une mémoire collective, tout en lui donnant les moyens d'une plus grande autonomie dans ses projets d'apprentissage. On peut également noter que la variété des institutions conduit aussi des différences dans les registres et en particulier entre les registres quotidien et scientifique. Duval (1991) a analysé de manière précise ce "décalage" s'agissant du raisonnement dans la vie courante et en mathématiques. Il y a, de manière générale, une différence entre la définition précise d'un terme dans un registre scientifique, comme force, énergie, et les significations plus larges qu'un terme peut prendre dans la langue quotidienne dans un français tout à fait correct. Ainsi on peut dire "j'ai de l'énergie ce matin", "tu gâches ton énergie dans des activités futiles" ou "quelle force a cet article que je viens de lire". Le sens est plus précis en sciences, il faudra par exemple associer la force à l'interaction entre deux systèmes (ou objets au début de

l'enseignement), etc. Cet écart entre le sens d'un même terme dans chacun de ces deux registres peut créer, comme nous l'avons déjà souligné, des difficultés d'apprentissage et de ce fait nécessite un enseignement en tant que tel.

- Une dernière étape d'acquisition, qui se déroule partiellement en parallèle à la précédente, mais se déploie vraiment lors de spécialisations dans la formation puis la profession, où à la langue écrite s'ajoutent des systèmes spécialisés de représentation symbolique permettant une expression sur des concepts ou des opérations dont le langage ordinaire, surtout oral, trop linéaire ou trop flou a du mal à rendre compte (cartographie, musique, mathématiques, sciences). Dans le domaine du travail, Falzon a mis en évidence les caractéristiques particulières des *langages opératifs* dont une simplification de la syntaxe et un développement lexical visant à restreindre au maximum la polysémie. Une plus grande "normalisation" de l'interaction (dans toutes ses dimensions) marque aussi la communication opérative orale (Falzon, 1989 ; 1994). Cette variation de l'importance et du rôle du langage tant oral qu'écrit va dépendre des institutions au sein desquelles évolue le sujet tour à tour et/ou simultanément : vie quotidienne, institution scolaire, situations professionnelles. Parmi ces situations, il convient de distinguer les situations scientifiques dans lesquelles l'objet de la production et de l'action est la connaissance scientifique. En effet, rien ne permet de penser que le fonctionnement du langage soit le même quand une connaissance est un objet de l'activité et quand elle est un outil : pour la connaissance scientifique "objet", le langage opératif est centré sur les objets de savoir et l'usage du langage dans les processus de validation est une question importante ou centrale, alors que le traitement langagier de la connaissance scientifique "outil" s'intègre dans le langage opératif du domaine professionnel considéré, et ce sont les buts et les objets de l'action qui vont contribuer à orienter ce langage opératif.

5.1.2. La multiplicité des fonctions instrumentales du langage

Quel que soit le contexte, on peut étudier le langage dans trois fonctions :

- celle de langage intérieur,
- celle de communication avec autrui,
- celle d'instrument cognitif générique dans le fonctionnement des connaissances, ou de "développeur" de connaissances, en particulier dans la dialectique entre concepts quotidiens et concepts scientifiques (Vygotski, 1997).

5.1.2.1. Le langage intérieur (hypothèse Vygotskienne)

L'activité verbale, d'abord sociale, s'intériorise ensuite et permet de passer de la résolution interactionnelle de conflits ou de différents socio-cognitifs à leur résolution solitaire dans l'activité de réflexion et d'acquisition individuelle. Cette fonction de langage intérieur interviendrait dans le développement de la pensée scientifique : il se pose alors la question de sa "transversalité" aux différents savoirs. Ce problème semble très parallèle à celui du rôle de la logique, et à celui des processus de raisonnement inférentiel. Or, les recherches sur l'une et l'autre thématique (avec des options théoriques variées) convergent sur des résultats mettant en évidence l'importance des situations et des contenus. Sur la question précise du langage, nous n'avons pas trouvé de point d'entrée dans les recherches qui permette de repérer l'état de la question de la transversalité. Les recherches de psycholinguistiques sur la production de textes ne concernent que très peu la production de textes scientifiques et pratiquement pas celles de documents non textuels⁶.

5.1.2.2. Le langage oral

On peut considérer trois possibilités, dans le cas où l'objet en jeu dans la communication est la connaissance.

— Les interactions orales ordinaires, plus ou moins praxéologiques et situées, comme événements langagiers de délibération et de construction collective des connaissances et ceci, avec des modalités différentes dans l'ensemble des institutions, en situations quotidienne, scolaire, professionnelle, et scientifique (Bernicot, Caron-Pargue & Trognon, 1997 ; Kostulski & Trognon, 1998).

— Les interactions orales spécialisées en classe (polylogue inégal ritualisé en situations scolaires) et la transmission orale monologique de l'information, se différenciant institutionnellement de différentes manières : cours magistral, cours dialogué, exposé de colloque, en situation de formation scolaire / universitaire, souvent en interaction avec des systèmes de représentations graphiques, et avec l'écrit (usage du tableau en mathématiques

⁶ Conclusion issue des recherches bibliographiques, et confirmée par T. Olive, un des chercheurs spécialisé dans le domaine de la production de textes.

et en sciences, par exemple). S'il y a de nombreuses études sur les interactions, sur la médiation, sur le discours de l'enseignant, il ne nous semble pas qu'elles se traduisent directement en termes d'impact sur les *articulations* entre différentes situations et différents types de savoir. Une lecture orientée en ce sens suppose par ailleurs de prendre en compte les questions posées dans le thème 4 sur les situations susceptibles de provoquer (ou de limiter) le développement des connaissances disciplinaires ou professionnelles, et sur le rôle du discours selon qui le tient et dans quel contexte (vie quotidienne, mathématiques à l'école, physique, biologie à l'école, tutorat en formation professionnelle sur le tas ou en alternance). Il nous semble identifier ici un vaste chantier de recherche à développer.

— L'accompagnement de l'action en situation professionnelle ou quotidienne, visant la coordination avec d'autres acteurs ou l'explication des finalités, du sens et des "manières de faire" l'action. Dans le domaine du travail, la "part langagière du travail", longtemps ignorée, est aujourd'hui mieux reconnue : elle est amplifiée par les nouvelles formes d'organisation du travail (équipes autonomes ou flexibles, groupes projets, etc.) et s'impose fortement dans la croissance des métiers du tertiaire. (Lacoste, Cosnier & Grosjean, 1993 ; Fraenkel & Borzeix, 2001). Plusieurs travaux dans ce domaine convergent vers le fait qu'il existe des difficultés importantes pour rendre compte par le langage de son activité de travail, (en particulier quand il est technique), et des événements ou phénomènes qui se déroulent dans une situation professionnelle (Schwartz, 1997 ; Pastré, 1997). Ainsi, une recherche sur l'utilisation et la transformation des connaissances dans le cadre professionnel (Ackermann & Barbichon, 1963) a proposé une analyse de difficultés cognitives propres à l'explication de phénomènes par des professionnels de domaines industriels. Nous reviendrons sur ce point à propos de l'articulation de savoirs disciplinaires et de savoirs professionnels.

Plus généralement, la question est ouverte de l'articulation d'un fonctionnement contextuel du langage (incluant la communication gestuelle) et des possibilités de décontextualisation par le même instrument (décontextualisation qui permet l'élaboration d'un savoir transportable hors des situations dans lesquelles il a émergé). L'approche écologique en psychologie cognitive — initiée par Neisser (Neisser, 1987 ; Neisser & Winograd, 1988) et qui connaît aujourd'hui un large développement — pourrait être croisée avec l'abord des didactiques disciplinaires (et celle de la "scientific literacy", plus holistique) pour réinterroger les travaux existants et en initier d'autres directement ciblées sur la transversalité des processus "contextualisation / décontextualisation" instrumentés par le langage.

5.1.2.3. La place de l'écrit dans l'élaboration, la transmission et l'acquisition des connaissances scientifiques

Les travaux de l'anthropologue Jack Goody (1979) sont importants sur ce point. Il a montré, par un travail anthropologique sur différentes sociétés de tradition orales et écrites, l'impact décisif de l'écrit sur le développement de la pensée critique et scientifique. Les sociétés qui se sont dotées d'une écriture, par comparaison avec celles qui sont restées orales, ont bénéficié de la possibilité de mettre à distance, ou si l'on préfère, d'objectiver les récits oraux. Elles ont ainsi pu s'émanciper des contraintes temporelles de l'oral, où les idées sont nécessairement énoncées les unes à la suite des autres. Par comparaison, un texte écrit est appréhendable dans sa globalité. Une réversibilité devient possible, de même que des processus de comparaison et de catégorisation notamment grâce à des tableaux, des listes à critère, etc.. De plus, un point essentiel du langage écrit dans le développement des connaissances scientifiques est non seulement son statut d'outil de représentation et d'interaction à propos des objets de savoir, mais aussi la possibilité ouverte d'exprimer le possible, le potentiel, ou le faux, et de développer des processus argumentatifs et explicatifs plus longs et plus structurés qu'à l'oral.

La sociologie des sciences (Latour, 1989 ; Latour et Woolgar 1988), dans une approche inspirée de l'éthnométhodologie, a repris ces idées et s'est intéressée au rôle des processus d'inscription des connaissances sur des supports variés dans l'activité scientifique. Ils ont un rôle important de stabilisation des énoncés et de cadrage des interactions dans les échanges entre chercheurs.

A ces différents travaux, il faut ajouter ceux, nombreux, qui se sont penchés sur la compréhension de textes. Les recherches dans ce champ ont été nombreuses, soit dans le cadre d'études en psychologie sur la résolution de problème, soit dans celui des recherches en psycholinguistique sur la compréhension de textes. Le rôle des manuels scolaires dans les acquisitions conceptuelles a été moins étudié, et de façon plus récente. Nous allons présenter tour à tour, quelques résultats importants de recherches relevant de ces différents domaines.

Activation de schéma connu, construction d'un modèle de problème, élaboration d'un modèle de situation ont été proposées pour rendre compte de l'activité observée en résolution de problème verbal. Les problèmes de mathématiques posés aux élèves de l'enseignement élémentaire ont été un sujet fréquent, en relation avec des

questionnements sur le développement. Les études montrent que la prise en compte des éléments quantitatifs directement pertinents pour la résolution n'est pas seule en jeu, mais qu'il y a des représentations intermédiaires entre le texte et la mathématisation du problème. Par exemple, Moreau et Coquin-Viennont (1996) montrent que lorsque l'on demande à des élèves de CM2 de repérer dans un énoncé de problème les éléments utiles pour le résoudre ou facilitant sa compréhension, ils relèvent toutes les informations indispensables et éliminent massivement les informations de type récit. Par contre, ils conservent dans une proportion d'environ 50% certaines catégories d'informations jugées superflues par des experts, qui facilitent la construction du modèle de situation mais n'interviennent pas directement dans le modèle du problème. Ces processus sont renforcés par des effets à la fois de pragmatique et de contrat didactique sur l'informativité des énoncés. Plusieurs études de didactique des mathématiques ont ainsi montré que la règle de la complexité maximale, c'est-à-dire le fait qu'il faille utiliser toutes les données proposées dans l'énoncé pour résoudre un problème, a la vie dure.

De manière plus générale l'identification du thème proposé par un texte quel qu'il soit semble très importante (Coirier, Gaonach & Passerault, 1996) : il a un rôle de point focal d'intégration des idées présentées, il sert de point d'appui pour décider de l'importance et de la pertinence des idées et de pivot pour l'articulation des sous-thèmes. La présence d'un titre thématique permet de lever des incertitudes en affectant a priori un niveau structural spécifique aux propositions du texte. Ainsi en l'absence de titre, le lecteur cherche un candidat au rôle de thème dans la première phrase du texte, qu'il retiendra s'il est assez général, sauf remise en cause explicite par la suite du thème. Ainsi, lorsque l'on place la question d'un problème en début d'énoncé (Devidal, Fayol & Barouillet, 1997), elle joue le rôle d'information organisatrice et conduit à une organisation de la lecture qui permet une amélioration significative de la résolution. D'autres caractéristiques des textes peuvent améliorer sensiblement leur compréhension : la typographie, une segmentation en unités de sens guidant la représentation associée à un plan visible (titres, sous-titres), la présence de résumés réguliers de plus en plus détaillés (Fayol, 1992).

Certains travaux, bien moins nombreux, sur la lecture des manuels scolaires présentent des résultats cohérents avec ceux portant sur les énoncés de problèmes. Par exemple, Mikkilä-Erdmann (2001) réalise une étude des effets de la structuration du savoir en jeu dans le texte manuel scolaire sur l'apprentissage de la photosynthèse. Observant que les textes traditionnels ne prennent pas du tout en compte les conceptions erronées des élèves sur la photosynthèse (non distinction végétal / animal quant à leur manière de se procurer l'énergie nécessaire à leur vie), son étude compare deux textes différents : un texte traditionnel d'un manuel ne tenant pas compte la conception des élèves (les plantes mangent comme les animaux des substances contenant de l'énergie) et dont la stratégie est de partir et d'enrichir les connaissances préalables des élèves ; un texte qualifié de "*conceptual change text*" (texte du changement conceptuel) construit pour l'étude et caractérisé par le fait qu'il part du point erroné de la conception traditionnelle des élèves en insistant sur la différence animal / végétal (les végétaux, contrairement aux animaux "fabriquent" eux-mêmes leur nourriture, grâce au soleil et à l'eau) et en la rappelant sans cesse par des éléments du texte devant induire et maintenir une attention métaconceptuelle dont l'objectif est de provoquer un conflit cognitif sérieux avec les connaissances antérieures. Les résultats de l'étude montrent que, si le second texte marche moins bien que le premier pour des questions scolaires traditionnelles, il apparaît beaucoup plus efficace pour un changement de modèle sur la photosynthèse. L'auteur conclut en regrettant que le manuel soit souvent négligé alors que l'étude montre que s'il est bien construit en prenant sérieusement en compte les conceptions des élèves, il peut être un outil efficace pour la modification des connaissances. L'auteur conclut aussi en ouvrant sur l'importance de l'image comme support décuplant l'efficacité du texte en lui donnant du poids si les deux sont bien combinés. D'autres études sur la compréhension de manuels scolaires vont dans le même sens que l'étude de Mikkilä-Erdmann : par exemple une étude de Wang et Andre (1991) sur le domaine des circuits électriques et une autre de Guzzetti, Snyder, et Glass (1992) sur le problème plus général de trouver des types de textes qui facilitent le changement conceptuel.

5.1.2.4. Les travaux sur l'utilisation du langage et des autres systèmes de représentation symbolique dans l'intervention didactique

Les travaux qui portent directement sur ce thème, qu'il s'agisse du discours et de l'écrit de l'enseignant ou de ceux des manuels, sont dispersés tant du point de vue des approches de recherche que des lieux de publication. Nous allons en donner quelques exemples illustratifs.

Quelques recherches récentes, articulant approche de didactique disciplinaire et approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant, sont centrées d'une part sur des caractéristiques du langage de l'enseignant vis-à-vis de l'objet d'enseignement, et d'autre part sur l'utilisation de l'écrit au tableau. Hache & Robert (1997) mettent ainsi en évidence la diversité des mathématiques que des enseignants de seconde font fréquenter à leurs élèves, en particulier quant à la structuration des connaissances portée ou non par le discours de l'enseignant, et quant à l'existence d'un discours "méta" sur la connaissance en jeu. L'existence de deux pôles dans l'utilisation du tableau est mise en évidence dans une autre recherche (Robert & Vandebrouck, 2001) : à un

pôle, le tableau est un lieu d'exposition du savoir mathématique, à l'autre pôle il constitue un lieu de travail mathématique. La structuration de l'inscription écrite et sa dynamique en relation avec la conduite de la classe sont alors des indicateurs des représentations sur les mathématiques et leur enseignement implicitement véhiculés, donc en particulier du "méta" dans la classe (les mathématiques comme exposition du savoir, en liaison avec le premier pôle, ou les mathématiques comme activité, en liaison avec le second).

Dans le domaine de l'enseignement des sciences à l'école élémentaire (en amont de la distinction que connaissent en général ensuite les disciplines scolaires) une étude sur le discours des enseignants du point de vue de la causalité a montré que le discours le plus fréquent est d'ordre descriptif et relatif à des faits, alors que le discours concernant les causes et les raisons est plus rare, et ce d'autant que les élèves sont plus jeunes. Ce phénomène est davantage marqué pour les enseignants qui ne sont pas spécialistes du sujet en jeu (Newton & Newton, 2000).

Une recherche récente de Chi (2001) met en avant l'importance non seulement des connaissances antérieures mais aussi des compétences en lecture dans le bénéfice que des élèves tirent d'une situation de tutoring, où un sujet compétent dans le domaine aide des étudiants dans la lecture d'un texte sur la circulation sanguine. Elle montre aussi que l'activité la plus directement liée (en termes de corrélation) aux acquisitions est celle de l'élève quand il questionne, commente les données du texte (c'est-à-dire lorsqu'il est acteur de son acquisition, si on considère ces données du point de vue de l'auto-régulation). Ces données vont plutôt dans le sens des conclusions de McNamara et al. (1996) (cf. *supra*) qui arguent que leurs résultats sont dus au fait qu'un texte à cohérence minimale force les élèves à s'engager dans un processus additionnel d'inférence (alors que Kalyuga, Chandler et Sweller (1998) interprètent des résultats analogues en termes de charge de travail relative au niveau des sujets concernés).

Par ailleurs, des "codages complémentaires" par d'autres moyens sémiotiques peuvent être indispensables ou utilisables. Le langage écrit ou oral peut devenir accessoire lorsque, en muséologie par exemple, ce sont les dispositifs de mise en scène des objets ou des notions, les parcours permettant d'organiser dans le temps les apports d'information qui ont pour tâche de construire des connaissances scientifiques et techniques⁷. Un des composants des études sur l'apport des TICE à la formation et l'apprentissage est l'impact du multimédia (dont l'hypermédia : ces dernières recherches ayant mis en évidence les difficultés propres au "browsing" dans l'utilisation d'hypertextes⁸). Il existe un ensemble en cours de structuration nationale de recherches de psycholinguistique sur le rôle des TICEs dans les processus de production de textes (de type narratif le plus souvent, et chez l'élève de l'école primaire, en activité individuelle ou collective). Le rôle du multimédia selon les types de savoirs et sur les interactions avec et entre différents types de savoirs reste un problème ouvert.

5.2. Les systèmes de représentation symbolique

Les relations entre systèmes de représentation ont fait l'objet de nombreuses recherches, souvent en termes de plus ou moins grande efficacité (Larkin & Simon, 1987 "Pourquoi un diagramme vaut (quelquefois) mieux que mille mots ?"). Mais peu de recherches concernent directement la manière dont ces systèmes de représentation se constituent en instruments de pensée dans le cadre des acquisitions opérationnelles de savoirs communs et de savoirs scientifiques. Nous allons donc utiliser des recherches spécifiques comme illustratives de questions qui se posent et de l'évolution des approches.

5.2.1. Schémas, diagrammes et graphiques comme outils d'acquisition de connaissances : la tentative d'explication par les mécanismes cognitifs généraux

L'idée que les images et les représentations graphiques peuvent améliorer l'acquisition de connaissances n'est pas nouvelle. Ainsi Vézin (1972, 1980) met en avant le caractère intégrateur des schémas. D'autres auteurs insistent sur leur rôle de support imagé pour illustrer des concepts abstraits, aider à comprendre des sujets difficiles, ou à réaliser des procédures techniques (Larkin 1989 ; Larkin & Simon 1987 ; Salomon 1979 ; Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Mais parallèlement des recherches montrent que des étudiants de tous âges ont

⁷ Une revue des recherches en muséologie, et une étude approfondie des acquisitions d'élèves sur les contenus en jeu dans une exposition scientifique (sur l'électricité) peut être trouvée dans (Fest, 2001).

⁸ S'il existe des recherches à propos du rôle de la structuration d'un hypertexte avec le travail sur un contenu de savoir particulier, elles n'apparaissent pas aisément dans les publications orientées vers des problématiques d'enseignement / apprentissage dans des domaines scientifiques, techniques ou professionnels.

souvent des difficultés à lire et à bien utiliser ces représentations graphiques (Leinhardt & al., 1990; Schnotz, 1993 ; Roth & McGinn 1997).

Plusieurs types de recherches existent dans le domaine : des recherches en psychologie cognitive à dominante expérimentale, des approches d'orientation généraliste par rapport aux contenus (sciences de l'éducation, *educational psychology*) et enfin des approches de didactique d'une discipline (avec un fort composant de didactique des mathématiques). Les approches se centrent souvent sur la performance : est-ce que l'insertion d'illustrations dans un texte aide les étudiants à répondre à des questions de compréhension ou non ? Est-ce que les étudiants qui sont entraînés à la lecture de graphiques retiennent plus d'informations d'une leçon qui en contient que ceux qui n'ont pas reçu un tel entraînement ? Elles peuvent aussi se centrer sur les mécanismes cognitifs sous-jacents à la lecture des objets graphiques.

Une approche classique met en avant des facteurs neurologiques qui permettraient de comprendre pourquoi les représentations graphiques favorisent l'apprentissage. Une théorie du "codage dual" (Paivio, 1986) avance que les textes sont traités et encodés dans le système verbal, tandis que les représentations graphiques et les images sont traités et encodés à la fois dans le système visuel et dans le système verbal. Cette explication du codage dual a souvent été utilisée pour expliquer que la mémoire des images est meilleure que la mémoire des textes, dans la mesure où deux codages sont plus efficaces qu'un seul. Mayer (1992) a proposé un modèle de l'apprentissage à partir de matériaux verbal et visuel, dérivant de la théorie du codage dual et de la notion de modèle mental (Johnson-Laird, 1983 ; Gentner & Stevens, 1983) : les avantages des graphiques ne se situent plus dans le codage dual mais dans la possibilité de construction par l'apprenant d'un modèle mental de l'objet étudié à partir de deux types de représentations (visuelle et verbale) stimulées par le support présenté, qui peuvent, si ce support est bien construit (cohérence et contiguïté des informations visuelles et verbales), se compléter et se renforcer mutuellement et améliorer ainsi la compréhension d'un objet étudié (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Ce modèle a fait l'objet de critiques (Schnotz & Bannert, 1999) : l'hypothèse du parallélisme de traitement des signaux graphiques et textuels pose problème car textes et graphiques font appel à des principes différents de représentations : "déictive" pour le texte, "descriptive" pour le graphisme. Les spécificités de chaque type ne sont pas prises en compte par les modèles précédents.

5.2.2 La prise en compte des connaissances de l'apprenant, de ses buts et des difficultés liées aux caractéristiques des systèmes de représentation symboliques.

Une critique forte peut être faite à ces modèles centrés sur les mécanismes cognitifs généraux en jeu dans la compréhension de représentations graphiques. Ils ne permettent pas de prendre en compte plusieurs facteurs qui semblent pourtant déterminants :

- les caractéristiques propres des systèmes de représentation à la fois du point de vue de leur grammaire spécifique, mais aussi du point de vue des règles de correspondance avec les objets représentés ;
- l'existence chez les personnes de connaissances préalables sur le domaine (scientifique, technique ou autre) dans lequel s'ancre l'activité de lecture ou d'élaboration de graphiques, et les liens plus ou moins parasites avec d'autres connaissances de la vie quotidienne ou d'autres domaines scientifiques ou professionnels ;
- enfin, la finalité de la représentation graphique et sa correspondance ou non avec les propres finalités de son utilisateur.

Plusieurs études peuvent être citées pour montrer le poids de ces trois facteurs, que ce soit en didactique ou en psychologie.

Par exemple, des travaux sur la représentation plane des figures de l'espace ont montré la complexité d'identification par les sujets des propriétés propres à différents systèmes de représentation et d'interprétation de l'information spatiale qui y est codée avec des règles qui restent souvent implicites. Dans l'enseignement (Bautier, Boudarel, Colmez & Parzysz, 1988) ce problème est très souvent escamoté. Or les élèves abordent ces questions avec des conceptions propres. Il se produit ainsi un véritable conflit, spectaculaire dans le cas des sphères que l'on voit toujours représentées par des cercles, alors qu'en perspective cavalière, comme en perspective conique, on devrait voir une ellipse.

Baldy (1986, 1988) observe que certains sujets adultes de bas niveau de qualification distinguent mal le statut d'objet autonome d'un dessin, et les actions cognitives qu'on peut effectuer dessus. L'interprétation de l'information spatiale codée dans le dessin, l'exploitation d'une convention comme celle de l'oblique, l'identification du point de vue figuré et sa coordination avec d'autres, perturbent l'inférence des propriétés spatiales de l'objet à partir des propriétés des dessins. Des observations de Bishop (1995) et de Deręgowski et Diurawiec (1985) conduisent au même constat.

Les difficultés et les potentialités liées à la mise en relation entre systèmes de représentation et activité cognitive sur un contenu de savoir ont été particulièrement développées à propos des mathématiques dans deux thématiques : les changements de *registres* (Duval, 1993), et les changements de *cadres* (Douady, 1984). Les registres chez Duval sont des systèmes de représentations symboliques, où s'articulent, comme dans le langage, des formes et des opérations sur ces formes. Ainsi on peut traiter un problème de maximum ou de zéros d'une fonction polynomiale dans le registre du calcul algébrique et on peut le traiter dans le registre des courbes représentatives (tel que peut l'offrir une calculatrice graphique par exemple). Le registre graphique "bénéficie" de très nombreux théorèmes en acte qui peuvent être difficiles à transporter dans le registre du calcul (et donc certains sont erronés) : par exemple, si des points sont pour certains "au-dessus" de l'axe des x et pour certains "au-dessous" la courbe traverse visiblement l'axe, donc il y a un zéro : le calcul algébrique montre le plus souvent l'existence en exhibant la valeur du zéro, mais les calculs doivent être d'une complexité sans mesure avec ce qui se verrait dans le traitement de la courbe.

Les recherches de Douady (1984) ont souligné l'importance de l'organisation des situations didactiques aptes à produire des changements conceptuels en s'appuyant sur des changements de cadres : pour elle, les cadres intègrent des représentations conceptuelles et des représentations externes, avec des théorèmes mathématiques propres à chaque cadre. Par exemple, on peut introduire les nombres réels via leurs approximations décimales en partant des connaissances des élèves dans le cadre numérique des entiers et des fractions, en changeant de cadre pour représenter le produit numérique par l'aire d'un rectangle, poser la question de chercher les rectangles de même aire, et parmi eux un carré, en s'appuyant sur les connaissances des élèves dans le cadre géométrique (tout rectangle a une aire, l'aire est additive pour l'extension en longueur ou en largeur, l'aire se conserve quand on prend des rapports inverses pour transformer la longueur et la largeur, etc.). Ces théorèmes en acte permettent de trouver une procédure de construction de rectangles à côtés de plus en plus proches, jusqu'au carré limite : en revenant au cadre numérique on peut obtenir des approximations décimales du nombre nouveau qui est le côté du carré. Le procédé didactique est long. Il suppose que l'un des cadres soit riche pour l'apprenant pour que le procédé soit efficace en termes de changement conceptuel ou en termes d'efficacité s'il s'agit de résolution de problème.

On peut expliquer, à travers ces analyses conduites sur les registres ou sur les cadres, que l'introduction simultanée, sans précautions, de plusieurs systèmes de représentation, ou de plusieurs cadres, ne facilite pas la compréhension. Au contraire, comme le montrent des travaux en physique dans des études sur la coexistence de plusieurs systèmes de représentation sur une même figure (Séjourné, 2001), cela peut la rendre beaucoup plus complexe. Comme dans les études sur le transfert, il semble ressortir l'existence de conditions de compétence préalable dans la manipulation d'un domaine, d'un cadre conceptuel de traitement ou d'un registre de représentation pour que le changement de points de vue soit productif de nouvelles connaissances.

Signalons, pour finir sur cette question des mises en relation entre systèmes de représentations différents, que l'on trouve une analyse approfondie de la manière dont les verbalisations et les représentations externes proposées sous différentes modalités peuvent être utilisées dans l'argumentation, avec une centration sur le raisonnement causal chez Oestermeier & Hesse (2000). Bien qu'il n'y soit pas fait référence aux questions de formation et de développement des connaissances scientifiques, cet article propose un cadre qui serait tout à fait pertinent pour le développement de recherches sur les relations entre modalités différentes des systèmes de représentation.

En didactique de la physique, des recherches sur les circuits électriques ont mis en évidence, d'une part, le fait que le caractère figuratif de représentations graphiques peut contribuer à renforcer des représentations mentales métaphoriques, avec les effets qui en sont aussi bien producteurs que réducteurs (ce qui relie la question de la représentation externe à celle de l'analogie et du transfert, abordée plus haut), et, d'autre part, l'impact des schémas canoniques utilisés par les enseignants. Joshua et Dupin (1984), ainsi que Caillot (1984), ont ainsi travaillé sur la compréhension des schémas de circuits électriques, chez des étudiants en université. Leurs études montrent que beaucoup d'élèves se servent d'abord de traits de surface des schémas. Par exemple, tous les résistors apparaissant sur une même ligne sont considérés comme étant en série (même si un nœud existe entre eux), alors que les résistors qui apparaissent dans des branches géométriquement parallèles sont en dérivation (même si, par exemple, une des branches contient un générateur). Ceux qui réussissent s'appuient d'abord sur leurs connaissances en électricité. Pour expliquer les difficultés des étudiants, Joshua et Dupin avancent comme hypothèse le fait que le schéma est considéré comme la représentation figurative de tuyaux réels, à l'intérieur desquels le courant coule. Caillot, quant à lui, met en avant le rôle joué par les schémas canoniques largement utilisés dans les classes pour l'enseignement de l'électro-cinétique. Ces schémas jouent le rôle de prototypes qui

structurent la lecture des schémas et rendent difficile la différenciation ou la reconnaissance de similarité dès que les schémas proposés s'éloignent des formes canoniques.

On peut encore citer des approches dans le champ du travail et dans celui de la formation, qui mettent en avant ces questions. La vaste littérature sur les interfaces en relève. L'approche "écologique" développée dans Vicente (1999) en propose une claire et complète mise en perspective. Des recherches plus spécifiques sont multiples, et, bien qu'on n'en dispose pas d'une synthèse, elles mettent en lumière à la fois la dépendance de l'utilisation des systèmes de représentation d'une part avec les buts de l'action et d'autre part avec les compétences des sujets dans le domaine concerné. Nous en donnons ici quelques exemples couvrant une variété de recherches.

Meyer, Shinar et Leiser (1997) étudient les facteurs qui déterminent la performance avec des tableaux et avec des graphes. Lorsque la tâche appelle la considération de valeurs exactes, l'ordre d'efficacité — en terme de temps et de précision — est le suivant : tableaux, diagrammes en bâton, puis graphes ; lorsque c'est le maximum atteint qui est pertinent pour la tâche, les graphes sont un peu meilleurs. La dimension de compétence des sujets face au savoir impliqué est relevée dans d'autres recherches qui mettent en évidence le rapport entre la représentation mentale en jeu et la représentation externe. Ainsi, par exemple Lowe (1989) montre que les représentations mentales que se construisent des sujets avec une importante connaissance de base du domaine (météorologues) sont organisées en fonction de concepts et de relations du domaine, alors que celle de sujets avec un niveau faible de connaissance du domaine sont liées à des caractéristiques visuo-spatiales des diagrammes. Une autre recherche montre dans le domaine de l'électricité, avec des sujets qui sont apprentis ou en formation professionnelle dans une compagnie électrique, qu'il y a des interactions entre niveau de connaissance dans le domaine et rôles respectifs de présentations textuelles ou graphiques de connaissances (Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998). Leurs résultats convergent avec ceux de McNamara et al. (1996) concernant des étudiants de lycée (*high school*) étudiant des textes de biologie : les éléments ajoutés à un texte originel pour accroître la cohérence bénéficient aux élèves dont le niveau de connaissance est faible (*low-knowledge readers*). Inversement, les élèves avec un niveau de connaissance élevé tirent un bénéfice plus fort que les précédents du texte considéré comme ayant une cohérence minimale.

Enfin, dans une toute autre veine que celle des travaux issus de manière dominante de la psychologie (psychologie cognitive, psycholinguistique, psychologie de l'éducation), avec une inspiration à la fois sémiologique, herméneutique et ethnométhologique, Roth et Bowen (1999) étudient les difficultés de compréhension de graphiques par des élèves lors de cours d'écologie. Leur étude pointe la présentation très générale et fortement décontextualisée des graphiques lors des cours. Très souvent sont absentes des ressources d'interprétation internes au graphique (comme les unités, l'échelle), les préoccupations et les hypothèses sous-jacentes au champ étudié, l'histoire de la construction des problèmes et des phénomènes : ces éléments sont pourtant cruciaux pour la construction d'une interprétation valide et solide du graphique. Une telle construction nécessite également l'engagement dans une activité de modélisation répétée, leur permettant de lier les représentations des phénomènes avec les objets matériels, ce qui est loin d'être toujours le cas dans l'enseignement.

5.2.3. Le cas du dessin technique ou la complexification progressive de l'approche des problèmes de compréhension de représentation graphique

Pour terminer, nous avons souhaité nous arrêter un peu plus longuement sur un domaine particulier : celui des études sur le dessin technique. Ce domaine nous semble particulièrement intéressant dans la mesure où certains travaux menés ont évolué vers une prise en compte d'un ensemble de plus en plus nombreux de facteurs explicatifs de la compréhension et l'utilisation de ces types de représentations graphiques : la spatialisation essentielle au dessin, la fonctionnalité de l'objet représenté, les connaissances techniques sur cet objet et son inscription dans une activité finalisée.

Dans un article récent, Vérillon (2000) pointe l'existence d'une tradition ancienne en psychologie du travail et de la formation qui a cherché à comprendre les processus cognitifs impliqués dans les activités de lecture de ces dessins.

Jusqu'à la fin des années 60, les études restent relativement a-théoriques et restent très proches des préoccupations du terrain (des formateurs notamment). Les psychologues cherchent à comparer les différences de *performance de lecture* selon les types de dessins (modes de projection) (Spencer, 1965) ou selon que les individus aient réalisé une activité préalable de dessin ou aient reçu une formation quant à l'écriture de ces dessins (Leplat et Petit, 1965 ; Fassina et Petit, 1969). Ces démarches expérimentales rendent simplement compte de différences (le dessin en perspective isométrique donne de meilleurs résultats que les vues orthogonales selon la norme américaine, qui elle-même est plus efficace que les vues orthogonales selon la

norme européenne) quant aux performances sans être à même d'expliquer ces performances faute d'un cadre théorique.

Après les années 60, un certain nombre de résultats sont réinterprétés à l'aide des cadres théoriques en débat : la théorie de l'information et le modèle proposé par Piaget et Inhelder (1947) pour rendre compte de la construction de l'espace représentatif chez l'enfant.

D'un retour sur des protocoles à travers le prisme de la théorie de l'information, on peut ainsi conclure que les erreurs les plus courantes manifestent chez les élèves un manque de précision et de coordination dans leurs prises d'information, qui peut être interprété ainsi : le dessin est un support d'informations dont chaque trace ou événement graphique constitue un signal ou un indice par rapport auquel l'apprenant doit élaborer une activité de recherche, de saisie et de traitement (Bresson, 1965).

D'autres auteurs (Weill-Fassinà 1973 ; Zougari, Weill-Fassinà & Vermersch, 1985 ; George & Higelé, 1990) réinterpréteront ces résultats dans un cadre théorique piagétien : les erreurs seraient à mettre sur le compte d'une stratégie figurative, privilégiant une centration sur les états au détriment des transformations. Dans cette perspective, certaines opérations spatiales présentent plus de difficultés que d'autres, notamment lorsqu'il est nécessaire de réaliser des inférences à partir des vues proposées. Ce modèle se révèle plus robuste que celui du traitement de l'information.

Mais d'autres travaux pointent les limites de l'approche piagétienne, en particulier la réduction à la lecture spatiale de l'objet sans prise en compte de sa fonctionnalité et des connaissances associées à cette fonctionnalité. Ainsi, Ball & al (1984) montrent que ces connaissances, quand le lecteur les possède, facilitent le décodage d'un dessin lorsqu'une forme n'a pas pu être complètement décrite géométriquement. A l'inverse, Rabardel (1982) montre que les représentations préexistantes relatives aux caractéristiques technologiques courantes de certains objets sont parfois très prégnantes et peuvent induire des lectures erronées. Une autre faiblesse de l'approche piagétienne est de ne pas prendre en compte la dimension sémiologique. Les analyses sémiologiques réalisées par Rabardel (1980) mettent en évidence le caractère systémique du code graphique du dessin technique. A un ensemble organisé d'unités sémiques sont associées des règles d'écriture et de composition qui sont autant de contraintes dont il faut tenir compte pour décoder un dessin technique.

Avec ces travaux, on voit que l'apprentissage de la lecture des dessins techniques suppose la maîtrise progressive et solidaire à la fois d'un code, de la lecture géométrique et de la technologie associée à l'objet technique dessiné.

Une approche développée plus récemment reprend les propositions des psychologues russes héritiers de Vygostki et situe la lecture du dessin technique dans une perspective instrumentale : le dessin technique, à l'instar d'autres représentations graphiques, est un intermédiaire dans l'activité cognitive du sujet sur l'objet représenté. Son apprentissage n'est pas simplement celle d'un système codé, mais nécessite une véritable genèse instrumentale grâce à laquelle l'artefact qu'est le dessin devient un instrument pour son utilisateur, déterminant et déterminé par des connaissances sur l'objet de l'activité (représenté par le dessin) (Rabardel & Vérillon, 1985 ; Rabardel, 1995). Cette approche instrumentale connaît un large développement avec une convergence sur le plan des recherches européennes avec les approches de la théorie des systèmes d'activité (Engeström, Miettinen & Punamaki, 1999).

6. L'ARTICULATION DES SAVOIRS DISCIPLINAIRES ET DES SAVOIRS PROFESSIONNELS

Ce type d'étude se réfère plus ou moins explicitement à un découpage de type "épistémologique" (cf. 2). En fait, on peut se demander si ce découpage est toujours fondé et ne fait pas plutôt référence à des connaissances propres à des sphères sociales. Certaines approches de l'enseignement "par le sens" s'interrogent d'ailleurs sur le fait que partir d'un champ de problèmes significatifs pour l'élève ne serait pas une démarche didactique plus pertinente que de partir d'un champ de savoir transposé pour l'enseigner. Le travail "par projet" correspond parfois à ce souci. Nous n'avons pas relevé de publications de recherche qui porte sur la nature des acquisitions faites dans ce contexte, sur le lien entre les acquisitions lors de la réalisation d'un tel enseignement, ni sur le lien entre les connaissances acquises dans ce cadre et celles mises en oeuvre soit dans un enseignement disciplinaire soit dans un autre projet.

En revanche, des expériences didactiques ont été conçues et élaborées dans le domaine de la didactique des mathématiques, à l'école élémentaire ou dans l'enseignement obligatoire. Un des promoteurs en a été Boero, avec la notion de domaine d'expérience (par exemple le domaine d'expérience des ombres pour le

développement de concepts géométriques —Boero, Garuti, Lemut, Gazzolo & Llado, 1995), et de métaphores constituantes (*grounding metaphores*) (Boero, Bazzini, & Garuti, 2001). À la fois, ces expériences répondent à une visée didactique de construire des connaissances mathématiques qui aient du sens pour l'élève, et également à la visée développementale de constituer ces métaphores constituantes en outils de pensées légitimes. Un numéro spécial de *Educational Studies in Mathematics* (1999) constitue un bon tour d'horizon. La question de la pertinence du découpage, et du caractère artefactuel possible des difficultés d'articulation y est présente, dans des problématiques de recherches où sont mises en avant l'importance du contexte (Wedegé, 1999), du sens et de la fonctionnalité immédiate des savoirs en jeu pour l'élève (Evans, 1999). Le caractère constituant potentiel offert par la cognition "incorporée" dans des activités naturelles de l'élève est également analysé par Nunez, Edwards et Matos (1999).

Le découpage en disciplines scolaires, transposé d'un découpage épistémologique, est toutefois celui présent dans les nombreuses situations d'enseignement général secondaire et supérieur, organisées selon des disciplines spécifiques, et la question de l'articulation des savoirs disciplinaires y est *a priori* posée.

6.1. L'articulation *intra* et *inter* savoirs disciplinaires

Quels sont les principaux résultats des recherches sur les transferts conceptuels ou, au contraire, sur l'étanchéité des représentations conceptuelles élaborées dans le cadre d'une discipline particulière ? Une partie de ces questions peut se retrouver dans les problématiques du transfert.

Des travaux sur des contenus communs aux mathématiques et à la physique dans l'enseignement supérieur indiquent que, pour les élèves, des concepts développés dans des champs différents, pour des finalités différentes, sont difficiles à articuler. Les enseignants ont également du mal à s'appuyer sur des enseignements autres que le leur. Lorsqu'on les interroge, ils se justifient souvent par les contraintes imposées par les programmes ("en maths ils n'ont pas encore fait l'intégrale multiple et j'en ai besoin pour..."). Les recherches en didactique conduites autour de M. Artigue (Alibert & al., 1988, Artigues, 1998) montrent que ce n'est pas une question de moment et de programme.

Une question particulière est la question —bien posée en didactique des mathématiques, mais peu en psychologie des acquisitions— des processus cognitifs en jeu dans la construction et le fonctionnement d'une connaissance outil (en particulier les mathématiques pour beaucoup de sciences). En termes vygotskiens, on peut poser cette question ainsi : qu'est-ce qui permet l'élaboration (ou la transformation ?) de concepts enseignés en instruments psychologiques ? La question concerne en particulier :

- les mathématiques comme outils de modélisation et de calcul polyvalents (Blum & Straesser, 1992 ; Blum & Niss, 1991). Parmi ces outils, les statistiques et les probabilités ont une place de choix ;
- les concepts informatiques dans l'usage de logiciels programmables (sur ce point, il y a beaucoup d'opinions et peu de recherches sur ce point) ;
- les équations aux dimensions de la physique (Hulin, 1986) et les études sur maquettes, simulations, etc.

On peut voir ces questions d'un point de vue de la généralité d'un instrument psychologique, ou, ce qui n'est pas exclusif, de la décontextualisation et du transfert au sein même d'une discipline. La question du transfert d'ailleurs peut également être posée au sein d'un même domaine technique : ainsi une recherche expérimentale de Patrick, Haines, Munley et Wallace (1989) sur la formation à la recherche de panne sur une installation chimique simulée conclut qu'il "*serait peu sage de chercher à caractériser l'efficacité de matériels didactiques par eux-mêmes sans prendre en considération les processus cognitifs qui sont développés et leur relation avec les exigences cognitives des différentes situations de transfert*" (p. 517, nous traduisons).

Un autre point de vue est celui de l'existence de précurseurs dans l'acquisition de nouveaux savoirs. Ainsi la notion de variable qui commence à être "manipulée" en mathématiques dès le début de l'enseignement secondaire avec l'algèbre, sert de précurseur lors de l'enseignement de la programmation avec des effets producteurs (liés à ce qui est commun au fonctionnement de ce concept dans les deux domaines) et réducteurs (liés en particulier au fait que la variable informatique est *a priori* une fonction du temps de l'exécution du programme) (Rogalski & Vergnaud, 1988; Rogalski & Samurçay, 1990). Cette question relève à la fois du transfert et de l'articulation des savoirs : l'élève doit continuer à savoir utiliser le précurseur dans son cadre de savoir d'origine et l'utiliser aussi dans le nouveau cadre où il fonctionne différemment.

Le cadre théorique de la cognition située pose le problème différemment : les chercheurs se situant dans ce cadre considèrent que l'apprentissage et l'enseignement sont plongés dans des contextes sociaux qui ne font pas que les influencer, mais déterminent les types de connaissances et de pratiques qui sont construites. Cette approche est particulièrement explicitée en psychologie de l'enseignement des mathématiques dans Cobb, Yackel et Wood (1992).

Le constat des difficultés à appliquer des connaissances “formelles” hors de son domaine d’origine se pose également pour l’application hors de l’école, qu’il s’agisse de la vie courante ou de la vie professionnelle. Nous citerons l’approche de Evans (1999) — encore dans le champ des mathématiques, la discipline aux savoirs élémentaires les plus présents dans la vie quotidienne—, qui considère que “*ne sont adéquates ni les vues traditionnelles ou les vues constructivistes, avec leur croyance simplificatrice dans la continuité de la connaissance à travers les contextes, ni une vue “insulationniste” actuellement populaire comme l’est la forme forte de la cognition située, qui affirme que le transfert n’est simplement pas possible*”(nous traduisons). Il propose une approche alternative basée sur l’analyse des discours comme systèmes de signes “*pour construire des ponts entre pratiques*”, et pour regarder les points où une interrelation peut exister entre pratiques.

Dans la mesure où les savoirs professionnels sont mieux circonscrits et identifiables que ceux de la vie quotidienne, nous allons dans le paragraphe suivant faire le point de ce qui existe comme recherche sur l’articulation entre savoirs disciplinaires et savoirs professionnels.

6. 2. Articulation savoirs disciplinaires / savoirs professionnels

On est ici dans le cas de recherches s’interrogeant sur la place et la pertinence de savoirs scientifiques (ou de savoirs disciplinaires scolaires ?) dans la pratique professionnelle. Les recherches font surtout le constat du décalage entre savoirs disciplinaires et savoirs professionnels (c’est en effet ce qui pose problème ou suscite l’intérêt : que ce qui est enseigné soit utilisé serait l’attendu).

6.2.1. L’outil mathématique et les autres types de savoir

Tenant à notre avis, a) au rôle d’outil polyvalent que jouent les mathématiques, b) à leur enseignement général et relativement précoce, et c) aux connexions existant à l’intérieur des communautés de recherche, il y a davantage de références accessibles sur les mathématiques que sur d’autres domaines. Après les travaux pionniers de Carraher (1985) sur les pratiques numériques des enfants vendeurs de rue, et celles des artisans pêcheurs, plusieurs lignes de recherche se sont développées en didactique des mathématiques et en psychologie de l’enseignement des mathématiques (Boero, 1996; 1999 ; Bishop, 1998; Sierpinska, 1995; Arsac et al., 1995; Blum & Niss, 1991). Une des orientations de ces travaux est relative à l’enseignement des contenus mathématiques concernés dans les enseignements professionnels (Mercier, 1994 ; Blum & Straesser, 1992 ; Hahn, 1999).

La question traitée dans cette dernière recherche peut être considérée comme un exemple des relations entre études des pratiques, et prise en compte des conceptions erronées en formation, en s’appuyant sur la transposition de situation professionnelle, pour répondre à la question “peut-on introduire le monde réel dans le cours de mathématiques et les transferts de connaissances mathématiques aux situations du monde extra-scolaire en seront-ils facilités ? Les études faites sur des élèves en formation par alternance (BEP, vendeurs) montrent sur les pourcentages des conceptions erronées, de type additif (on ajoute ou on soustrait x% pour calculer respectivement le prix TTC ou le prix hors taxe, connaissant l’autre), ainsi que l’existence de deux modes de travail :

- en mathématiques on fait de la proportionnalité et on utilise la calculatrice scientifique, dans l’entreprise on fait des pourcentages et on utilise la calculette ;
- avec le professeur de technologie les élèves sont plus nombreux à appliquer les procédures professionnelles (Hahn, 1999, p. 245).

On voit apparaître ici un des problèmes didactiques sous-jacent à la question d’articulation entre disciplines : l’existence d’un contrat propre à la discipline scolairement identifiée, incluant l’utilisation d’outils différents.

L’auteur présente ensuite l’impact d’une transposition de situations professionnelles : si des améliorations sont bien constatées, et les procédures professionnelles plus stables, elles ne sont pas plus justes, et l’obstacle du “pourcentage additif” demeure. En fait, comme dans d’autres situations professionnelles, les cas où le calcul donne le résultat correct (calcul du prix TTC connaissant le HT, ou calcul du prix après remise) sont beaucoup plus nombreux et dès qu’il s’agit de taux petits, les erreurs sont minimales et il y a peu de chances (ou de risques) d’avoir un feedback négatif sur la procédure utilisée⁹. Hahn souligne avec Sierpinska le faible corpus de connaissances réellement utilisées par les élèves à l’extérieur de la classe, et le problème du développement ultérieur de leurs compétences si on se limite à ce corpus dans la classe de mathématiques.

⁹ Si on applique l’additivité du pourcentage pour calculer combien coûtait un objet de 100F avant une taxation de 5,5% on obtient 94,50F, si on applique correctement le pourcentage (100/105,5) on obtient 94,80 F (erreur de l’ordre de 3‰)

En fait, deux processus apparus dans cette recherche, qui ont un domaine de validité au-delà de l'exemple, sont importants pour situer les décalages entre connaissances scolaires ou scientifiques et techniques et connaissances dans l'action quotidienne ou le travail. D'une part, la connaissance "académique" (pour reprendre un terme utilisé par Woods (1988), sur ce problème) est une fin pour les scientifiques : c'est leur objet d'action, alors que c'est un outil pour les professionnels (ou dans la vie quotidienne). L'évaluation de la connaissance va être la pertinence et l'efficacité pour l'action, ce que Woods (1988) appelle la validité pragmatique dans l'introduction d'un ouvrage sur l'ingénierie cognitive. D'autre part, et en liaison avec ce qui précède, ce qui va compter d'abord du point de vue de l'économie de l'usage de la connaissance va être si le succès, en regard des buts et des critères, va être assez souvent présent, et si la connaissance ("vraie" ou "fausse") permet un contrôle suffisant de l'action. Les besoins d'une connaissance scientifique ou technique non erronée se manifestent clairement dans des cas limités, ceux où s'identifie une compétence critique : situations incidentelles, où un paramètre se trouve hors de l'enveloppe du prévu, et où les procédures sont en échec, situations de conception où on ne peut partir du connu, en cas de nécessité d'identification et de récupération d'erreur, de soi-même ou d'autrui¹⁰, ou pour évaluer un modèle¹¹.

6.2.2. Connaissances scientifiques et techniques de professionnels en exercice ou en formation : deux études cibles

Dans le domaine des sciences naturelles, nous avons trouvé moins de références dans la littérature consultée. Nous avons retenu deux documents anciens, au vu des attentes actuelles en matière de bibliographie, mais tout à fait d'actualité en tant qu'études expérimentales sur l'acquisition et l'utilisation des connaissances scientifiques et techniques dans la pratique professionnelle (en remplaçant *comportement intellectuel* par *activité cognitive*, *ouvriers et techniciens* par *opérateurs* ...). (1962, 1963) ont étudié les processus de compréhension et les connaissances de conducteurs d'appareils chimiques et d'agents électriciens au cours de tâches d'explication. Zigouris et Ackermann (1966) se sont penché sur des futurs techniciens en physique chimique dans un centre de formation, en leur donnant à réaliser des tâches d'anticipation de phénomènes.

Chez les professionnels, Ackermann et Barbichon identifient une gamme de dix types de réponse incluant la réponse faisant appel au concept adéquat. L'analyse des difficultés observées relève plusieurs processus : une interaction avec les termes de la langue courante, la difficulté de maniement de notions négatives (comme le vide), l'atomisation ou l'absence d'articulation des connaissances scientifiques et techniques, l'absence de conservation dans les transformations, la difficulté à prendre en compte toutes les variables, l'assimilation à un problème déjà résolu. Les deux auteurs relèvent aussi deux autres points :

- la séparation (particulièrement pour les électroniciens) entre les trois ordres de connaissances que sont la théorie (scientifique ou technique), la pratique professionnelle et la vie quotidienne ;
- la variabilité des systèmes de représentation qui peuvent être partiels et hétérogènes, et de formulation concurrentes non coordonnées ; "certaines cloisons peuvent être délibérément dressées pour la mise en oeuvre des représentations acquises dans des circonstances différentes que l'on craint de confronter avec les connaissances récentes" (p. 8).

Par ailleurs des effets tiennent à la position professionnelle : seuls sont perçus dans un ensemble de phénomènes ceux qui sont liés aux actes techniques des opérateurs de la chimie, et les représentations sont celles qui permettent de départager les phénomènes chimiques qui sont du ressort de l'ingénieur. Ce point a été retrouvé dans l'analyse de représentations des conducteurs de haut fourneau, dans des approches d'ergonomie cognitive et de didactique professionnelle (Hoc & Samurçay, 1992 ; Samurçay, 1995 ; Samurçay & Pastré, 1995). Enfin, les auteurs identifient un problème de rapport au savoir, qui se traduit par une négation du problème d'incompréhension, une difficulté à délimiter des "blocs d'ignorances" (p. 11), l'existence de connaissances illusoires ("paragnosie"). Ces différents phénomènes leur semblent provenir de la pression d'une "norme sociale du savoir sans fissure".

¹⁰ Dans l'exemple précédent, c'est au niveau de la comptabilité ou du contrôle financier que les erreurs de taxation seront à récupérer : un bilan comptable ne supporte pas l'erreur du centime...

¹¹ L'utilisation de tout ce qui est à une certaine échelle (maquette, simulations ...) met en relation le domaine cible et les mathématiques, avec des effets différents de la proportionnalité des longueurs selon les dimensions (au sens d'équation aux dimensions, de la physique) des grandeurs en jeu. Mais les procédures pratiques ne sont pas nécessairement celles de la proportionnalité. Il y aurait certainement des recherches intéressantes à conduire sur le lien visée pragmatique / procédure robuste / théorisation (l'approche "technologique" développée par Chevallard après les anthropologues laisse de côté ce niveau d'interaction), et sur les moteurs possibles dans l'activité de travail.

Dans la seconde recherche conduite par Zigouris et Ackerman (1966), un ensemble de mots-clés est présenté de manière détaillée, qui serviront à analyser en détail les réponses des stagiaires en relation avec les relations sémantiques du domaine de savoir de référence. Les spécifications du langage documentaire d'analyse utilisé sont présentées : avec trois niveaux d'analyse des relations de coordinations, et sur le plan du lexique, une distinction entre mots dépendants (prédicats) vs indépendants (éléments), qui sont soit des individus (entités) soit des propriétés (fonctions), elles-mêmes actives ou passives. À partir de ce cadre de description des discours des stagiaires, plusieurs schémas-types sont identifiables. Le regroupement des schémas avec la distribution des 54 sujets de l'étude, en prétest et posttest, fait apparaître qu'il y a peu de changement avec l'intervention en formation, que le nombre de schémas évoqués reste stables, qu'il y a un fond de notions implicites, avec peu de réponses en termes d'équilibre physique (tout comme il y avait peu de prise en compte de la conservation dans les réponses de l'étude précédente). L'interprétation est que dès qu'un schéma, même d'un niveau faible, est connu et utilisé, il obstrue pratiquement les autres possibilités. Les auteurs concluent que c'est une intégration synthétique et une utilisation dynamique des concepts qui fait le plus défaut à travers l'ensemble des thèmes de connaissances évoqués et que l'enseignement renforce essentiellement un savoir fermé, plus sûr et contrôlable, au détriment du savoir ouvert, fait de plus d'incertitudes et d'incorrections, dussent elles provenir d'une hésitation à la limite plus féconde.

6.2.3. L'épistémologie des savoirs scientifiques et techniques et celle des savoirs professionnels : concepts pragmatiques, structure conceptuelle des situations

L'articulation des savoirs scientifiques et techniques et celle des savoirs professionnels demande, pour analyser les recherches conduites ou à conduire, d'identifier des différences épistémologiques (et pragmatiques) entre ces deux types de savoirs :

- La différence se situe d'abord au niveau de la visée de ces savoirs : à dominante épistémique pour les premiers versus à dominante pragmatique pour les seconds. À la validité des savoirs scientifiques et techniques répond la pertinence et l'efficacité des savoirs professionnels. Dans les deux cas, il n'y a pas visée unique, mais dominance inverse de l'une sur l'autre.
- La deuxième différence vient du fait que ce qui est au centre des savoirs scientifiques, ce sont des concepts génériques qui visent à comprendre un ensemble a priori quelconque de situations. Par comparaison, sont au coeur des savoirs professionnels ce que Pastré (1997) a nommé des concepts pragmatiques, qui ont pour vocation à permettre d'agir efficacement dans la classe limitée des situations liées à un domaine de travail. Plusieurs études, dans le contrôle de Haut-Fourneau (Samurçay, 1995; Samurçay & Pastré, 1995), dans le domaine des feux de forêts (Rogalski & Samurçay, 1993 ; 1994) et dans celui du nucléaire (Pastré, Plénacoste & Samurçay 1997), illustrent cette spécificité.
- Une troisième différence vient du rôle déterminant de la situation dans le fonctionnement des savoirs professionnels : la structure conceptuelle des situations de travail (courantes, rares, et celles incidentelles) joue un rôle comparable à celle des champs conceptuels d'un domaine scientifique ou technique. Par ailleurs, les concepts pragmatiques (attachés à un domaine d'action) sont articulés dans les savoirs professionnels à des parties de champs conceptuels "excisées" de différents domaines scientifiques.
- Enfin, l'organisation de l'activité dans un domaine des situations professionnelles est un composant essentiel de la compétence professionnelle, qui ne peut se ramener à une organisation des connaissances. Peut-être la centration des recherches sur les savoirs disciplinaires est-elle ici un artefact, et la question de la compétence (qui est à la fois de ce qui génère la performance et ce qui met en action les connaissances) est-elle en fait une question commune à tous les domaines ?

Plusieurs exemples de recherches donnés ci-après, dans le champ de la sidérurgie, de la lutte contre les feux de forêt et de la médecine illustrent ces différences entre les deux types de savoir.

Par exemple, la conduite d'un haut fourneau appelle la maîtrise de concepts pragmatiques (Hoc et Samurçay, 1992) et des connaissances de thermodynamique et de chimie. Ces dernières sont nécessaires à la validation du lien entre les concepts pragmatiques et les paramètres mesurés et aussi à la construction de représentations opératoires/fonctionnelles du haut fourneau. Mais elles ne sont pas suffisantes. Des notions simples de chimie (réduction / oxydation) sont aussi en jeu, de même que des connaissances en acte sur les relations température / couleur de la fonte. Pour interpréter les sorties de certains logiciels de conduite, des connaissances sur les représentations graphiques de fonctions sont aussi nécessaires. Elles peuvent être issues d'acquis mathématiques ou au contraire du sens de ces représentations pour l'action de conduite du haut fourneau.

Un autre exemple est celui de la lutte contre les feux de forêts, au niveau stratégique en particulier (Rogalski & Samurçay, 1993 ; 1994). Les modèles de feux appellent des connaissances soit en mathématiques, soit en thermique. Mais les modèles mathématiques simplissimes sont plus au point que les modèles physiques. Le test d'hypothèses sur l'expression de la vitesse du feu en fonction du vent, de l'hygrométrie et de topographie (en fait

: pente uniforme du terrain) exige des connaissances (peu partagées) sur la problématique du changement d'échelles, liée aux équations aux dimensions de la physique et aux effets des homothéties sur différentes mesures, malgré l'intérêt de l'articulation entre les deux.

Des recherches sur les savoirs professionnels de professionnels confirmés, à niveau relativement élevé de qualification, mettent en avant d'autres questions de formation et d'articulation de connaissances. En particulier, le domaine médical a fait l'objet de manière privilégiée de recherches qui ont articulé l'analyse de l'activité, l'étude de l'expertise et la question de la formation. Les savoirs dont l'articulation est considérée sont d'une certaine façon déjà tous des savoirs professionnels, qui sont enseignés dans une des filières professionnalisantes de l'enseignement supérieur. La question est ainsi déplacée vers celle de la mise en oeuvre de ces savoirs professionnels selon l'expérience, et vers la question didactique de la formation à ces savoirs.

Ainsi, une étude comparant des diagnostics par des étudiants en médecine de seconde et de sixième année, et par des professionnels expérimentés (neurologues) montre, d'une part, que les différences sur le diagnostic concernent surtout le temps mis (les experts sont plus rapides), mais, d'autre part, que les explications diffèrent dans la structuration des connaissances invoquées (Rikers, Schmidt, & Boshuizen, 2000). Les experts utilisent des "encapsulations" de concepts. Ces encapsulations articulent tout un ensemble de connaissances pertinentes pour justifier le diagnostic en une seule entité étroitement liée aux buts d'action, elles partagent ainsi les propriétés définissant les concepts pragmatiques. La part de cette encapsulation augmente avec le niveau d'expertise. De même, les étudiants ont des mémorisations plus détaillées que les experts, ce que l'on peut lire à l'inverse : les experts ont des représentations plus globales et plus schématiques (ce qu'Ochanine (1978) définit comme propriétés de l'image opérative). Ces résultats s'observent aussi bien pour les diagnostics dans le domaine propre des experts que hors de leur spécialité : cela suggère que les experts traitent des descriptions de cas cliniques de la même manière à l'intérieur de leur champ d'expérience et en dehors de ce champ.

Un ensemble coordonné de travaux récents confirme la différence de structuration (van de Wiel, Boshuizen & Schmidt, 2000 ; Charlin & Boshuizen, 2000). Les résultats obtenus peuvent être interprétés dans le cadre d'un modèle d'organisation des connaissances en réseau, modèle intégrant 2 hypothèses :

- l'hypothèse du "double monde" (two-world hypothesis), selon laquelle les connaissances dans le domaine médical sont organisées comme deux mondes à part : des connaissances biomédicales, enseignées comme savoir théorique dans la formation initiale des médecins, et des connaissances sur les cas cliniques (Patel, Evans and Groen, 1989) ;
- l'hypothèse de l'encapsulation des connaissances biomédicales dans la connaissance clinique dont font partie les connaissances de pathophysiologie et ce, quelle que soit la spécialité du médecin (Schuwirth, Verheggen, van der Vleuten, Boshuizen, & Dinant, 2001). En fait, le traitement de cas brefs met en évidence des processus de pensée qui représentent mieux la compétence à résoudre des problèmes médicaux que ne le font des questions de connaissance factuelle.

7. CONCLUSION

Ce thème met bien en évidence la variété des outils et processus en jeu dans l'articulation des connaissances qui est une nécessité à la compréhension du monde et plus spécifiquement à l'apprentissage. Ainsi, le transfert, les connaissances métacognitives dans leur grande variété, de celles sur les stratégies d'apprentissage à celles sur le fonctionnement des savoirs scientifiques et techniques en particulier, la langue et les systèmes de représentation symbolique sont autant d'"outils" en jeu dans cette articulation. Or actuellement de nombreuses questions restent ouvertes. Un champ quasiment entier est encore peu exploré et pourtant essentiel à la compréhension de l'apprentissage de savoirs scientifiques et techniques : celui de l'articulation entre connaissances naïves, savoirs scientifiques et savoirs techniques.

La première question qui s'est posée, que l'on peut formuler ainsi : "quel découpage des connaissances retenir pour s'interroger sur leur articulation", n'a pas trouvé de réponse univoque. Plusieurs points de vue semblent pertinents. Si on s'interroge sur les liens entre les connaissances et leur organisation, la référence aux disciplines scientifiques (et techniques) et aux savoirs professionnels apparaît appropriée. En revanche, la référence à des champs sociaux de pratiques est certainement plus adéquate pour étudier les différences de fonctionnement de l'argumentation, par exemple. Les divergences d'approches qui se sont affrontées en philosophie et en sociologie des sciences ne laissent pas encore présager des avancées sur lesquelles la psychologie cognitive ou la didactique des disciplines scientifiques pourraient appuyer leurs propres recherches.

Plusieurs résultats convergents pour souligner la difficulté à transférer des connaissances d'un domaine à un autre, et le fait que l'articulation de ces connaissances ne va pas de soi. Cela va clairement contre les courants d'une éducation générale et de ceux qui centrent la visée de formation sur "apprendre à apprendre". Cela ne veut pas dire que tout transfert est impossible, mais que la nature et le fonctionnement des connaissances dépendent fortement des caractéristiques de situations particulières dans lesquelles ces connaissances sont mobilisées, des finalités poursuivies, du statut d'outil ou objet de ces connaissances. Un certain nombre de recherches en didactique montrent la possibilité de construire des connaissances d'un champ scientifique à partir de celles d'un domaine d'expérience. Un point commun est l'organisation d'une intervention didactique dans la durée, impliquant un fonctionnement adapté de la part de l'enseignant.

Un phénomène d'échelle est en jeu, touchant à la fois l'empan des concepts et des situations considérées (du côté des savoirs) et la temporalité considérée (du point de vue du développement de l'apprenant). De plus, et à l'encontre d'un constructivisme strict, ce n'est pas simplement l'organisation des situations proposées aux apprenants qui intervient dans les passages du "déjà connu" au "nouveau", mais l'activité de l'enseignant ou du formateur dans la gestion de ces situations par les apprenants (ce qui renvoie au chapitre suivant). Des conclusions similaires peuvent être tirées des recherches, très variablement organisées, conduites sur des processus transversaux : activités métacognitives, médiation par des systèmes de représentations symboliques. Il se pose aussi un problème d'amorçage : une connaissance du nouveau est nécessaire à l'efficacité d'un transfert ou d'une médiation symbolique. On manque de recherches coordonnées sur ces effets d'échelle et sur ceux d'amorçage.

Par ailleurs si la recherche a largement analysé les problèmes de changement conceptuel, on reste largement ignorant sur la stabilité des acquis conceptuels et sur la nature des relations de l'ancien et du nouveau dans la structure des connaissances. Y-a-t-il :

- réorganisation de structures, comme l'avait postulé Piaget à un niveau apparu ensuite trop général,
- co-habitation d'organisations conceptuelles localement cohérentes (une version de la cognition située),
- articulation d'unités organisées intégrant connaissances et mise en fonctionnement (une version des schèmes piagétiens),
- ou enfin constitution des connaissances acquises en nouveaux instruments cognitifs (une extension de l'approche vygotskienne) ?

À côté d'un développement nécessaire d'études sur l'articulation directe de différents types de connaissances (dont on ne connaît encore que très peu de choses, même du strict point des phénomènes), il serait intéressant de promouvoir le développement, et la coordination, de recherches sur le rôle des processus cognitifs généraux (régulation de l'activité, généralisation et transfert, etc.) et des instruments symboliques de la médiation (langage et autres systèmes de représentation), et de leur interaction avec les caractéristiques de situations dans lesquelles des connaissances se développent, ou même déclinent et s'éprouvent (y compris échouent).

Enfin, l'impact de la régulation par l'individu de son propre apprentissage, dont de multiples recherches ont montré l'importance pour les acquisitions de connaissances, semble dépendre non seulement de facteurs cognitifs (ceux soulignés plus haut), mais aussi conatifs, émotionnels et sociaux : les recherches en ce domaine constituent une voie intéressante, mais qu'il serait dommageable de considérer comme un voie alternative de réponse aux questions d'articulation.

Bibliographie

- Ackermann, W. & Barbichon, G. (1962). Utilisation et transformation des connaissances dans le cadre professionnel. In S. Moscovici, W. Ackermann, G. Barbichon, D. Buffard, B. Rialan & D. Vidal (Eds.), *La diffusion des connaissances scientifiques et techniques*. Rapport au Commissariat Général au Plan et à la Productivité.
- Ackermann, W. & Barbichon, G. (1963). Conduites intellectuelles et activité technique. *Bulletin du CERP*, 12, 1-16.
- Alibert D., Artigue M., Courdille J.M., Grenier D., Hallez M., Legrand M., Menigaux J., Richard F., Viennot L. (1988). Le thème "différentielles" : un exemple de coopération math-physique dans la recherche, in G. Vergnaud, G. Brousseau, M. Hulin (eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*, pages 7-45, Editions La Pensée Sauvage, 1988
- Arsac, G., Gréa, J., Grenier, D., & Tiberghien, A. (Eds.). (1995). *Différents types de savoirs et leur articulation*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Artigues M. (1998). L'évolution des problématiques en didactique de l'analyse., RDM 18.2, 231-262
- Baldy, R. (1986). Comparaisons de dessins de volumes en perspective cavalière par des adultes de bas niveaux de formation, *Archives de psychologie*, 54, 271-285.
- Baldy, R. (1988). De l'espace du dessin à celui de l'objet. Une activité de mises en correspondances entre des dessins en perspective cavalière et des objets réels, *Educational studies in mathematics*, 19, 43-57.
- Ball, J., Rabardel P., Verillon P. (1984). Présenter la géométrie du dessin technique. Dans *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique : des constats d'échec et des moyens de réussite* (pp 13-47). Collection rapports de recherche n°9. Paris : INRP.
- Baron, J.-L., & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique. *Revue Française de Pédagogie*, 135, 163-172.
- Bassok, M., & Holyoak, K. J. (1993). Pragmatic knowledge and conceptual structure: determinants of transfer between quantitative domains. In D.K. Detterman and R.J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: intelligence, cognition, and instruction* (pp. 68-98). Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Bautier, T., Boudarel, J., Colmez F. & Parzysz B. (1988). Représentations planes des figures de l'espace, in Vergnaud G., Brousseau G. & Hulin M. (eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*, (pp 127-148). Grenoble : La pensée sauvage.
- Bazile, J. (1994). Conceptions des opérateurs de bas niveau de qualification du secteur agro-alimentaire en matière de micro-organismes, incidences sur la formation professionnelle à l'hygiène et à la qualité des produits. *Didaskalia*, 4.
- Bécu-Robinault, K., & Tiberghien, A. (1998). Integrating stable experiments in energy teaching. *International Journal of Science Education*, 20(1), 99-114.
- Bernicot, J., Caron-Pargue, J., & Trognon, A. (Éds.) (1997). *Conversation, interaction et fonctionnement cognitif*. Nancy : PUN.
- Bishop, A.J. (1995). Space and geometry, in Lesh R., and Landau M. (eds). *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 175-203). New York : Academy press.
- Bishop, A. (1998). *Mathematical enculturation: A cultural perspective on mathematics education*. Dordrecht : Kluwer.
- Blum, W., & Niss, M. (1991). Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects, state, trends and issues in mathematics education, *Educational Studies in Mathematics*, 22, 37-68.
- Blum, W., & Straesser, R. (1992). *Mathematics teaching in technical and vocational colleges. Professional vs general education*. Occasional paper 132, Institut für Didaktik des Mathematik der Universität Bielefeld.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: a new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7(2), 161-186.
- Boekaerts, M. (1999). Metacognitive experiences and motivational state as aspects of self-awareness: Review and discussion. *European Journal of Psychology of Education*, 14(4), 571-584.
- Boero, P. (coord.) (1999). Numéro spécial *Education Studies in Mathematics*, 39.
- Boero, P. (1996). *Uomo e Natura, Uomo e Società, Uomo e cultura*. Dipartimento di Matematica, Università di Genova.
- Boero, P., Bazzini, L., & Garuti, R. (2001). Metaphors in teaching and learning mathematics: a case study concerning inequalities. In M. van den Heuvel-Panhuizen (Ed.), *PME25@NL*, (2, pp. 185-192).
- Boero, P., Garuti, R., Lemut, E., Gazzolo, T., & Llado, C. (1995). Some aspects of the construction of geometrical conception of the phenomenon of the sun's shadow. *Proceedings of PME XIX*, Recife, Vol.3, 11-18
- Boreham, N., Fisher, M., & Samurçay, R. (eds.) (to appear). *Work Process Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.

- Borkowski, J. G. (1996). Metacognition : Theory or chapter heading ? *Learning and Individual Differences*, 8, 391-402 .
- Borkowski, J. G., & Muthukrishna, N. (1995). Learning environments and skill generalization : How contexts facilitate regulatory processes and efficacy beliefs. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies : Issues in growth and development* (pp.283-300). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Bourdieu P. (1992). *Homo academicus*. Paris : Editions de Minuit.
- Bourdieu, P. (2001). *Science de la science et réflexivité. Cours du collège de France 2001*. Paris : Liber, raison d'agir.
- Bowers, J., Cobb, P., & McClain, K. (1999). The evolution of mathematical practices: a case study. *Cognition and Instruction*, 17(1), 25-64.
- Bransford, J. D., & Schwartz, D. L. (1999). Rethinking transfer: a simple proposal with multiple implications. In A. Iran-Nejad & P. D. Pearson (Eds.), *Review on research on education* (pp. 61-100). Washington: American Educational Research Association.
- Bresson F. (1965). Langage et communication. In *Traité de psychologie expérimentale*, TVIII, Paris : PUF.
- Caillot M. (1984). La résolution de problèmes en physique : représentations et stratégies, *Psychologie française*, 29, vol 3-4, pp 257-262.
- Carraher, T.N., Carraher, D.W., & Schliemann, A.D. (1985). Mathematics in the streets and schools. *British Journal of Developmental Psychology*, 3, 21-29.
- Catrambone, R. (1995). Aiding subgoal learning: effects on transfer. *Journal of Educational Psychology*, 87, 5-17.
- Catrambone, R., & Holyoak, K. J.(1989). Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1147-1156.
- Chan, C.K.K, & Sachs, J; (2001). Beliefs about learning in children's understanding of science texts. *Contemporary Educational Psychology*, 26(2), 192-210.
- Charlin, B. D. & Boshuizen, H. P. A. (2000). Scripts and medical diagnostic knowledge: Theory and applications for clinical instruction and research. *Academic Medicine*, 75(2), 182-190.
- Chen, Z., & Daehler, M. W. (2000). External and internal instantiation of abstract knowledge facilitates transfer in insight problem solving. *Contemporary Educational Psychology*, 4, 423-449.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chi, M. T. H. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471-534.
- Cobb, P, Yackel, E., & Wood, T. (1992). A constructivist alternative to the representational view of mind. *Journal for Research in Mathematics Education*, 23(1), 2-33.
- Coirier, P., Gaonac'h, D. & Passerault, J.M. (1996). *Psycholinguistique textuelle : approche cognitive de la compréhension et de la production de textes*. Paris : Armand Colin.
- Collet, G. (2000). *Langage et modélisation scientifique*. Paris: CNRS éditions.
- Cordier, F., & Cordier, J. (1991). L'application du théorème de Thalès. Un exemple du rôle des représentations typiques comme biais cognitifs. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 11(1).
- Dapueto, C. & Parenti, L. (1999). Contributions and obstacles of contexts in the development of mathematical knowledge. *Educational Studies in Mathematics*, 39, 1-21.
- Deregowski, J.B., & Dziurawiec, S. (1985). Some aspects of comprehension of technical diagrams : an intercultural study, *Le travail humain*, 48, 321-330.
- Devidal, M., Fayol, M. & Barouillet, P. (1997). Stratégies de lecture et résolution de problèmes arithmétiques. *L'année psychologique*, 97, pp 9-31.
- Douady, R. (1984). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2).
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Duval, R. (1991). Structure du raisonnement déductif et apprentissage de la démonstration. *ESM*, 22, 233-261
- Engestrom, Y. Miettinen R. & Punamaki U. (1999). *Perspectives on activity theory*. Cambridge (UK) : Cambridge University Press.
- Evans, J. (1999). Building bridges: Reflections on the problem of transfer of learning in mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 39, 22-44.
- Falzon, P. (1989). *Ergonomie cognitive du dialogue*. Grenoble: PUG.
- Falzon, P. 1994). Dialogues fonctionnels et activité collective, *Le travail Humain*, 57(4), 299-312.
- Fassina, A., & Petit, R. (1969). Les erreurs de la lecture en dessin industriel. *Bulletin du CERP*, 18, 1.
- Fayol, M. (1992). Comprendre ce que l'on lit : de l'automatisme au contrôle., in Fayol M., Gombert J.E., Lecocq P., Sprenger-Charolles L. & Zagar D. (eds), *Psychologie cognitive de la lecture*, pp 73-105, Paris : PUF.
- Fest, V. (2001). *Connaissances en électricité. les apports d'une médiation muséologique chez l'enfant de 5 à 12 ans*. Thèse de doctorat de Psychologie. Université Paris8.

- Flavell, J.H. (1977). Metacognitive development. In J.M. Scandura, & J.C. Brainerd (Eds.), *Structural/process models of complex human behavior*, (pp. 213-242). Netherlands: Sijthoff and Noordhoff.
- Fraenkel B. & Borzeix A. (2001). *Langage et travail. Communication, cognition, action*. Paris : CNRS éditions.
- Ganier, F., Gombert, J.E & Fayol M. (2000), Effets du format de présentation des instructions sur l'apprentissage de procédures à l'aide de documents techniques, *Le travail humain*, tome 63, n°2-2000, pp 121-152.
- Gentilhomme, Y. (1994). L'éclatement du signifié dans les discours technoscientifiques. *Cahiers de lexicologie*, 1994-1(64).
- Gentner, D. & Stevens, A.L. (Eds). (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning, in S. Vosniadou and A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning*, (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Georges, Y. & Higele, P. (1990). *Ateliers de dessin technique*. Paris : Dunod.
- Goody, J. *La raison graphique. La domestication de la pensée sauvage*. Les éditions de Minuit. Paris.
- Guzzeti, B., Snyder, T. & Glass, M. (1992)., Promoting conceptual change in science : can texts be used effectively. *Journal of reading*, 35(8), 642-649.
- Hache, C., & Robert, A. (1997). Un essai d'analyse de pratiques effectives en classe de seconde, ou comment un enseignant fait préquenter les mathématiques à ses élèves pendant la classe. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 103-150.
- Hahn, C. (1999). Proportionalité et pourcentage chez des apprentis vendeurs. Réflexion sur la relation mathématique / réalité dans une formation "en alternance". *Educational Studies in Mathematics*, 39, 229-249.
- Hasman, A. & Boshuizen, H. P. A. (2001). Medical informatics and problem-based learning. *Methods of Information in Medicine*, 40(2), 78-82.
- Hoc, J.-M., & Samurçay, R. (1992). An ergonomic approach to knowledge representation. *Reliability Engineering and System Safety*, 36, 217-230.
- Holyoak, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. In G.H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol 19, (pp. 59-87). New York: Academic Press.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge (MA), The MIT press.
- Hulin, M. (1986). *Analyse dimensionnelle*. Manuscript.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge (UK) : Cambridge University Press.
- Joshua, S. & Dupin, J.J. (1984). Schematic diagrams, representations and types of reasoning in basic electricity, in Duit R., Jung W., Rhöneck C. (eds), *Aspects of understanding electricity*, Kiel, IPN, pp 129-139.
- Johsua, M.-A., & Johsua, S. (1987). Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifiques (première partie). *Recherches en didactique des mathématiques*, 8(3), 231-266.
- Johsua, M.-A., & Johsua, S. (1988). Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifiques (deuxième partie). *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(1), 5-30.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40(1), 1-17.
- Kintsch W. *Comprehension : a paradigm for cognition*. Cambridge (UK) : Cambridge University Press.
- Kintsch W., Greeno J. (1985) Understanding and solving word arithmetic problems, *Psychological review*, 92, 109-129.
- Kostulski, K., & Trognon, A. (Éds.) (1998). *Communications interactives dans les groupes de travail*. Nancy : PUN.
- Kuhn T.S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion..
- Lacoste, M., Cosnier J. & Grosjean M. (1993). *Soins et communications. Approches interactionnistes des relations de soins*. Paris : PUL
- Larkin J.H. (1989). Display Based problem solving. In D. Klahr & K. Kotovsky (eds). *Complex information processing. The impact of Herbert Simon* (pp. 319-341). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Larkin, J.H. & Simon H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes). worth ten thousands words ? *Cognitive science*, 11, 65-99.
- Latour B. (1989). *La science en action*. Paris : La découverte.
- Latour, B., & Wollgar, S. (1988). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris : La Découverte.
- Legrand, M. (1990). "Circuit" ou les règles du débat mathématique. In CI2U (Éd.), *Enseigner autrement les mathématiques* (pp. 129-161). Paris : Commission Inter-IREM Université.
- Leinhardt, J.L., Zaslavsky, O. & Stein M.K. (1990). Functions, graphs and graphing : tasks, learning and teaching, *Review of educational research*, 60, pp 1-64.

- Leplat, J., & Petit R (1965). Relations entre le dessin et les exercices pratiques dans l'apprentissage d'un métier manuel, *Bulletin du CERP*, 14, 1-2.
- Loarer, E., Huteau, M., Chartier, D., & Lautrey, J. (1998). Le développement des capacités cognitives au cours de la formation. *Le Travail Humain*, 61(1), 229-235.
- Lowe, R, K (1989). Search strategies and inference in the exploration of scientific diagrams. *Educational Psychology*, 9, 27-44.
- Lowe, R, K (1993). Constructing a mental representation from an abstract technical diagram. *Learning and Instruction*, 3(3), 157-179.
- Mason, L. (2000). Role of anomalous data and epistemological beliefs in middle school students' theory change about two controversial topics. *European Journal of Psychology of Education*, 5(3), 329-346.
- Mayer R.E. (1992). Cognition and instruction : their historic meeting with educational psychology, *Journal of educational psychology*, 84, pp 405-412.
- McNamara, D., Kintsch, E., Songer, N. B. , & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14, 1-43.
- Melot, A.-M. (1993). Métacognition et théories de l'esprit. *Journal International de Psychologie*, 28, 581-593.
- Mercier, A. (1994). Des études didactiques pourraient-elles aider l'enseignement des savoirs professionnels ? Le cas des mathématiques dans les pratiques professionnelles. *Didaskalia*, 4.
- Meyer, J., Shinar, D., & Leiser, D. (1997). Multiple factors that determine performance with tables and graphs. *Human Factors*, 39(2), 268-286.
- Mikkilä-Erdmann, M. (2001). Improving conceptual change concerning photosynthesis through text design, *Learning and Instruction*, 36(3), 241-257.
- Monteil, J.-M. & Huguët, P. (1991). Insertion sociale, catégorisation sociale et activités cognitives. *Psychologie Française*, 36(1), 35-46.
- Monteil, J. M., Brunot, S., & Huguët, P. (1996). Cognitive performance and attention in the classroom : an interaction between past and present academic experiences. *Journal of Educational psychology*, 88, 242-248.
- Moreau, S., & Coquin-Viennot, D. (1996). Les informations utiles pour bien comprendre un énoncé de problème arithmétique, in Rouet, J.F. & Levonen J.J (eds), *UCIS'96 (Using Complex Information systems) : Cognitive, ergonomic, educational aspects*, pp 215-219. Poitiers (université de Poitiers).
- Mounoud, P. (1997). Coordination des points de vue et attribution de croyances : de la théorie de Piaget aux théories "naïves" de l'esprit. *Psychologie Française*, 42(1), 31-44.
- Newton, D. P., & Newton, L. D. (2000). Do teachers support causal understanding through their discourse when teaching primary science? *British Educational Research Journal*, 26(5), 599-613.
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 14, 510-520.
- Nunez, R., Edwards, L., & Matos, J.F. (1999). Embodied cognition as grounding for situatedness and context in mathematics education, *Educational Studies in Mathematics*, 39, 45-65.
- Ochanine, D.A. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail, *Psychologie et éducation*.
- OCDE (1999). Measuring students knowledge and skills. The 2000 PISA assessment of reading, mathematical and scientific literacy. <http://www.mpib-berlin.mpg.de/pisa>.
- Oestermeier, U. & Hesse, F. W. (2000). Verbal and visual arguments. *Cognition*, 75, 65-104.
- Paivio, A. (1978). A dual coding approach to perception and cognition. In H.L. Pick & E. Saltzman (eds), *Modes of perceiving and processing information* (pp39-52). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations : a dual cognitive approach*. Oxford : Oxford University Press.
- Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement, *Psychologie Française*, 42(1), 89-100.
- Pastré, P., Plénacoste, P., & Samurçay, R. (1997). *Analyse didactique des simulateurs. Rapport de recherche CNRS/EDF*. Saint-Denis : Université Paris 8.
- Pateyron, B. (1997). *Mobilisation des savoirs dans la formation professionnelle. Le cas du brevet de techniciens supérieurs en contrôle industriel et régulation automatique*. Thèse de didactique des disciplines scientifiques et techniques. Lyon : Université Claude Bernard.
- Patrick J., Haines B., Munley G., & Wallace A. (1989). Transfer of fault-finding between simulated chemical plants. *Human Factors*, 31(5). 503-518.
- Perkins, D., & Unger, C. (1994). A new look in representations for mathematics and science learning. *Instructional Science*, 22, 1-37.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Paris : Colin.
- Piaget, J. (1974). *La prise de conscience*. Paris : PUF.
- Puustinen, M., & Pulkkinen, L. (2001). Models of self-regulated learning : A review. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 45, 269-286.

- Rabardel, P. (1980). *Contribution à l'étude de la lecture du dessin technique*. Thèse de 3^{ème} cycle. Paris : EHESS.
- Rabardel, P. (1982). Influence des représentations préexistantes sur la lecture du dessin technique, *Le travail humain*, 2.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Colin.
- Rabardel, P. & Verillon P. (1985). Relations aux objets et développement cognitif. In Giordan A. & Martinand J.L. (eds), *Actes des 1ères journées internationales sur l'éducation scientifique*, pp 189-196, Paris : LIREPST, Université Paris VII.
- Reid, M. K., & Borkowski, J. G. (1987) Causal attributions of hyperactive children : Implications for teaching strategies and self-control. *Journal of Educational Psychology*, 79, 296-307.
- Rikers, R. M. J. P., Schmidt, H. G. & Boshuizen, H. P. A. (2000). Knowledge encapsulation and the intermediate effect. *Contemporary Educational Psychology*, 25(2), 150-166.
- Rikers, R.M., Schmidt, H.G., & Boshuizen, H.P.A. (2000). Knowledge encapsulation and the intermediate effect. *Contemporary Educational Psychology*, 25(2),150-166.
- Robert, A. ,& Robinet, J. (1996). Prise en compte du méta en mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 16(2)., 145-176.
- Robert, A. & Vandebrouck, F. (2001). *Recherches sur l'utilisation du tableau par des enseignants de mathématiques de seconde pendant des séances d'exercices*. DIDIREM Paris7.
- Robert, A., & Tenaud, I. (1988). Une expérience d'enseignement de la géométrie en terminale C. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(1)., 31-70.
- Rogalski, J. (1995). From real situations to training situations : conservation of functionalities. In J.M. Hoc, C. Cacciabue & E. Hollnagel (eds.), *Expertise and technology. Cognition and human-computer interaction* (pp. 125-137). Hillsdale: Laurence Erlbaum Associates.
- Rogalski, J. & Samurçay, R. (1990). Acquisition of programming knowledge and skills. In J.-M. Hoc, T. G. R. Green, R. Samurçay & D. Gilmore (Eds.), *Psychology of Programming* (pp. 157-174). London: Academic Press.
- Rogalski, J. & Samurçay, R. (1993). Représentations : outils cognitifs pour le contrôle d'environnements dynamiques. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.), *Représentations pour l'action* (pp. 183-206). Toulouse: Octares.
- Rogalski, J. & Samurçay, R. (1994). Modélisation d'un savoir de référence et transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau. In J. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien (Eds.), *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 35-71). Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Rogalski, J., & Vergnaud, G. (1988). Didactique de l'informatique et acquisitions cognitives en programmation. *Psychologie Française*, 267-273.
- Ross, B.H. (1984). Reminders and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology*, 16, 371-416.
- Ross, B.H. (1989). Distinguishing types of superficial similarities: different effects on the access and use of earlier problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 456-468.
- Roth, W.M. & McGinn M.K. (1997). Graphing : a cognitive ability or a cultural practice ? *Science Education*, 81, pp 91-106.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition, and learning*. San Francisco : Jossey-bas(ed).
- Samurçay, R. (1995). Conceptual process models for training. In J.M. Hoc, C. Cacciabue & E. Hollnagel (eds.), *Expertise and technology. Cognition and human-computer interaction* (pp. 104-124). Hillsdale: Laurence Erlbaum Associates.
- Samurçay, R., & Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Education Permanente*, 123.
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du naïf au créatif : Analogie et catégorisation*. Paris : L'Harmattan.
- Schnotz, W. (1993) Introduction, *Learning and instruction*, 3, pp 151-155.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Support and interference effects in learning from multiple representations. *European Conference on Cognitive Science*, 27-30 October, Rome.
- Schoenfeld, A. (1985). *Mathematical problem-solving*. Orlando : Academic Press.
- Schuwirth, L. W. T., Verheggen, M. M., van der Vleuten, C. P. M., Boshuizen, H. P. A. & Dinant, G. J. (2001). Do short cases elicit different thinking processes than factual knowledge questions do? *Medical Education*, 35(4), 348-356.
- Schwartz Y. (ed). (1997) *Reconnaissances du travail. Pour une approche ergologique*. Paris : PUF.
- Séjourné, A. (2001). *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : Le cas de "Labdoc Son et Vibrations"*. Thèse en Sciences de l'éducation, Lyon : Université Lumière Lyon 2.
- Sierpiska, A. (1995). Mathematics in context, pure or with applications? *For the Learning of Mathematics*, 15, 2-15.

- Speelman, C.P., & Kirsner, K. (2001). Predicting transfer from training performance. *Acta Psychologica*, 108, 247-281.
- Spencer, J. (1965). Experiments on engineering drawing comprehension, *Ergonomics* 8, 93-110.
- Spencer, R.M., & Weisberg, R.W. (1986). Context-dependent effects on analogical transfer. *Memory & Cognition*, 14, 442-449.
- Stengers I. (1987) *D'une science à l'autre, des concepts nomades*. Paris : Le seuil.
- Valot, C. (1998). *Métacognition et connaissances métacognitives. Intérêt pour l'ergonomie*. Thèse d'Ergonomie. Université Toulouse Le-Mirail.
- Valot, C. (2001). Rôles de la métacognition dans la gestion des environnements dynamiques. *Psychologie Française*, 46 (2), 131-141.
- van de Wiel, M. W. J., Boshuizen, H. P. A. & Schmidt, H. G. (2000). Knowledge restructuring in expertise development: Evidence from pathophysiological representations of clinical cases by students and physicians. *European Journal of cognitive psychology*, 12(3), 323-355.
- Van der Stoep, S. W., Pintrich, P. R., & Fagerlin, A. (1996). Disciplinary differences in self-regulated learning in college students. *Contemporary Educational Psychology*, 21, 345-362.
- Vauras, M., Kinnunen, R., & Rauhanummi, T. (1999). The role of metacognition in the context of intergrated strategy intervention. *European Journal of Psychology of Education*, 14(4), 555-569.
- Verillon P. (2000). Modéliser l'apprentissage de la lecture des graphismes techniques : l'apport des approches psychologiques du dessin technique, *Documents et travaux de recherche en éducation*, n°42, Paris : INRP.
- Vérillon, P. & Rabardel, P. (1995). Cognition & artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 77-101.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion (ed.).
- Veizin, J.F., (1972). L'apprentissage des schémas. Leur rôle dans l'assimilation des connaissances. *Année psychologique*, n°1, 179-198
- Veizin, J.F. (1980). Complémentarité du verbal et du non verbal dans l'acquisition des connaissances, *Monographies françaises de psychologie*, n°50, Paris : Éditions du CNRS.
- Vicente, K. (1999). *Cognitive work analysis. Toward safe, productive and healthy computer-based work*. Mahwah, NJ: LEA.
- Viennot, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13-27.
- Vu, K. P. L., Hanley, G. L. & Strybel, T. Z. (2000). Metacognitive processes in human-computer interaction: Self-assessments of knowledge as predictors of computer expertise. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 12(1), 43-71.
- Vygotski, L. (1997) *Pensée et Langage* (3^{ème} édition). Paris : La dispute.
- Wagemann, L. (1998). Analyse des représentations initiales liées aux interactions homme-automatisme en situation de conduite simulée. *Le Travail Humain*, 61(2), 129-151.
- Wang, & Andre, (1991). Conceptual change text versus traditional text and application questions versus no questions in learning about electricity, *Contemporary Educational psychology*, 16, 103-116.
- Wedegé, T. (1999). To know or not to know—mathematics, that is a question of context. *Educational Studies in Mathematics*, 39, 205-227.
- Weill-Fassina A. (1973). La lecture du dessin industriel, perspectives d'étude, *le Travail humain*, 36 (1).
- Woods, D. D. (1988). Coping with complexity: The psychology of human behavior in complex systems. In L. P. Goldstein, H. B. Andersen & S. E. Olsen (Eds.), *Mental Models, Tasks and Errors* (pp. 128-148). London: Taylor & Francis.
- Zeidner, M., Boekaerts, M., & Pintrich, P. R. (2000). Self-regulation : Directions and challenges for future research. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 749-768). San Diego, CA : Academic Press.
- Zygouris, R., & Ackermann, W. (1966). *Représentation et assimilation des connaissances scientifiques*. Rapport AFPA-CERP. Document n° 2.
- Zougarri, G., Weill-Fassina, A., & Versmersch, P. (1984). Performances et compétences d'élèves de LEP dans des épreuves de lecture de forme. In: *l'apprentissage de la géométrie du dessin technique* (pp. 207-286). Collection Rapports de Recherche n°9. Paris : INRP.

THEME 4

LES SITUATIONS DE FORMATION DANS L'ENSEIGNEMENT EN VUE DE L'APPRENTISSAGE DU SAVOIR SCIENTIFIQUE ET MATHEMATIQUE

Colette Laborde,
IMAG-Leibniz, Université Joseph Fourier – CNRS et IUFM Grenoble

Marylin Coquidé,
EST-LIREST, Université de Paris-Sud, Orsay

Andrée Tiberghien,
UMR GRIC, CNRS – Université Lumière Lyon 2

1. INTRODUCTION

Les chapitres précédents ont porté sur les connaissances, leur évolution et leur articulation, en laissant de côté les conditions à mettre en place pour favoriser ou susciter un apprentissage. Le chapitre présent prend pour objet central d'étude les recherches sur les dispositifs didactiques qui visent à permettre l'évolution des connaissances scientifiques des apprenants. Le champ d'études que constituent les situations éducatives " informelles ", comme celles menées dans les musées et dans les centres de culture scientifique interactifs ne sera pas abordé.

D'une part, ces dispositifs sont nombreux, d'autre part les recherches menées peuvent avoir des champs d'étude très variables que ce soit du point de vue du type d'institution dans lequel se situe le dispositif objet d'étude, de la taille de leur objet d'étude (une année d'enseignement, l'enseignement d'un thème sur plusieurs séances, une séance de classe...), du moment considéré dans le long processus qui va de la définition des contenus d'enseignement à leur enseignement effectif. Il existe ainsi de nombreux travaux sur la constitution des curriculums, c'est-à-dire qui porte sur la création de plans d'étude, de programmes ou d'itinéraires éducatifs progressifs, nous ne les aborderons pas ici. En revanche, la synthèse prend en compte les séquences d'enseignement sur un thème disciplinaire donné ; dans ce champ, les recherches peuvent théoriser une séquence sur un thème en mettant l'accent, par exemple, sur les relations entre l'évolution du contenu d'enseignement et l'apprentissage des élèves. La synthèse considère aussi les recherches et théorisations portant sur les situations de classe et leur gestion par l'enseignant dans leurs aspects spécifiques des contenus disciplinaires enjeux d'apprentissage.

Il faut préciser d'emblée que le terme " situation " pour désigner les situations d'enseignement et de formation en général, est surtout employé dans les recherches françaises, les recherches anglophones préférant parler de " instruction " ou " instructional activities ", c'est pourquoi par la suite nous utiliserons le terme de "dispositif didactique" qui peut référer aussi bien à tout une séquence d'enseignement qu'à une situation donnée, organisée à des fins d'apprentissage ¹.

¹ On peut citer la définition de didacticien des sciences anglais (Gilbert et Boulter, 1998) : " Within this approach, learning takes place in particular situations. But what constitutes a "situation"? Rodrigues and Bell (1995) point out that, in the science education literature, the word "context" can mean a variety of things, such as (the classroom", the learning environment" or the "relevance of an activity". However, what is important in their view is the personal meaning attached to new or established knowledge when used to understand the external, physical situation. A situation, then, is a specific external environment which is turned into a context at a particular time by the mental activity of an individual, often acting within a group." (Gilbert et Boulter, 1998, p.56).

Les recherches, dont nous rendons compte, ont porté leur attention sur les caractéristiques des dispositifs permettant la construction de connaissances par les apprenants. Un des objectifs poursuivis par les recherches est en effet de développer un corps de connaissances fiables sur ces dispositifs didactiques qui en permettent la reproductibilité, non du point de vue événementiel mais du point de vue de la nature des savoirs construits par les apprenants dans ces dispositifs. Des questions se posent alors : Est-il possible de dégager des caractéristiques des dispositifs didactiques dont la reproduction garantirait en quelque sorte la nature des apprentissages réalisés ? Dans quelle mesure ces caractéristiques dépendent-elles des savoirs dont l'apprentissage est en jeu ? Dans quelle mesure transcendent-elles ces savoirs et présentent-elles des traits généraux susceptibles d'être présents quel que soit le type d'apprentissage ? Or, les situations d'apprentissage sont complexes par la multiplicité des éléments en jeu, leur caractère social, cognitif et épistémologique ; comment choisir les caractéristiques qui permettront de prendre en compte cette complexité ? Différentes théorisations ont été développées pour appréhender cette complexité. C'est par elles que nous présenterons les recherches.

2. TOILE DE FOND THEORIQUE

Les nombreuses recherches consacrées aux dispositifs didactiques reposent sur des théorisations différentes centrées principalement sur un ou quelques aspects de ces dispositifs, compte tenu de la quasi-impossibilité d'une prise en compte globale de leur complexité.

2.1. Perspectives des recherches

Si toutes les recherches partagent l'objectif à long terme d'identifier les caractéristiques des dispositifs permettant l'évolution des connaissances, certaines visent essentiellement une compréhension voire une modélisation des processus d'enseignement apprentissage, tandis que d'autres se situent davantage dans une optique de transformation de ces processus (" transformational research " selon les termes du Research Advisory Committee du National Council of Teachers of Mathematics des USA, NCTM 1988). C'est pourquoi, même s'il est parfois difficile d'établir des frontières entre différentes sortes de recherche et si l'on peut presque envisager un continuum entre elles, les recherches en didactique se situent entre deux perspectives :

- la construction de dispositifs de formation et d'apprentissage
- l'analyse de dispositifs d'enseignement ou de formation ordinaires, non construites à des fins de recherche ou d'expérimentation.

La place, l'enjeu et le contenu des théorisations diffèrent également selon les recherches.

Ainsi, la théorie des situations didactiques de Brousseau (1998) a donné lieu à de nombreux enseignements de mathématiques à l'école élémentaire (Ecole Jules Michelet de Talence) dont la conception est fondée sur cette théorie. Dans ce cas, la théorie se situe a priori de la conception de l'enseignement, la réalisation de l'enseignement sert de mise à l'épreuve. A l'autre extrême, les projets aux Pays-Bas de développement de curriculum à grande échelle en mathématiques, qui se réclament de l'étiquette Realistic Mathematics, donnent une place à la théorie surtout a posteriori. Les activités d'enseignement qui y sont développées le sont en fonction de grands objectifs théoriques, à la manière d'un bricolage (" theory guided bricolage " Gravemeijer 1998), et selon le cycle, conception, réalisation en classe, observation, modification, réalisation etc. Ce n'est qu'en un second temps que l'analyse théorique s'affine devenant plus spécifique des contenus enseignés (Gravemeijer *ibid.*) et pouvant exercer une influence sur de nouvelles innovations. Il faut noter qu'en physique, toujours aux Pays-Bas, la perspective est semblable (Lijnse, 2000). Dans les dernières recherches, l'enseignant est co-constructeur du processus de recherche, alors que les premières le prennent plutôt comme objet d'étude. Bien évidemment, la place de la théorie n'est pas sans lien avec le type d'expérimentation et de validation des dispositifs.

D'autres différences apparaissent aussi par l'étendue dans la durée du dispositif didactique, une séance à une année d'enseignement par exemple. Dans le cas où l'étendue temporelle est grande, la séquentialisation du contenu d'enseignement devient un objet de recherche en soi.

Toutes ces différences se retrouvent dans le cadre théorique sollicité, les problématiques développées ou dans le " grain d'analyse " des dispositifs didactiques envisagés (par exemple, focalisation de la recherche sur des individus, sur des groupes d'élèves ou sur une classe entière, "taille" des changements conceptuels étudiés dans

les situations, importance des “contraintes” mises en œuvre dans les dispositifs, “durée” des situations analysées par rapport au temps scolaire, ...).

La caractéristique dominante des dispositifs didactiques est très certainement la complexité des éléments et des processus en jeu. Rendre compte des recherches de façon synthétique conduit à mettre l'accent sur la problématique principale des recherches. Les approches possibles pour caractériser cette problématique apparaissent multiples. Présentons-en trois : les deux premières qui distinguent des pôles dans les dispositifs didactiques et se complètent, la troisième étant de nature systémique.

Au risque de paraître simpliste, il est pratique de considérer les dispositifs didactiques comme s'articulant autour de trois pôles : les objets de savoir dont l'acquisition est visée, les apprenants et l'enseignant (triangle didactique). Ces trois pôles ne suffisent pas cependant à rendre compte des processus en jeu, qui reposent aussi sur leurs interrelations, sur des interrelations entre ces interrelations, et sur la spécificité didactique des apprentissages...

La perspective fournie par la théorie de l'activité héritée de Vygostki, Luria et Leontiev (cf. par exemple Cole et Engeström 1993) distingue un plus grand nombre de pôles, en faisant apparaître la communauté dans laquelle se situe l'activité, les règles de fonctionnement dans cette communauté, la division des tâches, et les artefacts culturels par lesquels l'activité est médiée. Les dispositifs didactiques, par leur dimension sociale et culturelle peuvent se prêter à une telle interprétation. Ainsi, les artefacts de nature matérielle ou symbolique (langage, textes) ont une grande importance dans l'enseignement : que l'on pense, par exemple, aux interventions de l'enseignant, aux verbalisations des élèves, aux différents écrits, à l'instrumentation, ou encore aux environnements informatiques.

La troisième approche envisagée consiste à adopter un point de vue systémique, selon lequel les situations d'enseignement se situent au sein du système didactique, un système complexe soumis à des contraintes mais permettant aussi des choix à différents niveaux (par les programmes, par les manuels, par les enseignants) (Chevallard 1991). Il s'agit alors d'analyser le jeu réciproque de ces choix et contraintes ou de procéder à des choix prenant en compte l'ensemble des contraintes.

Parmi ces possibilités, nous avons fait un choix plus pragmatique que théorique, en tenant compte des multiples possibilités et de la situation actuelle des recherches dans les différentes approches. Les recherches se centrent le plus souvent sur une articulation entre deux pôles, tous les pôles n'étant pas concernés également. Nous avons ainsi retenu les pôles : apprenants, savoir, situation et artefact issus des deux premières approches et nous avons ajouté l'institution pour les recherches ayant une approche plus systémique. Nous avons retenu les interrelations suivantes entre ces pôles :

- entre apprenants et savoir
- entre apprenants et enseignant
- entre savoirs et “ situation ”
- entre apprenants et artefacts
- entre savoirs et “ institution ”.

Ces interrelations sont le plus souvent considérées au sein du système complet que constitue le système éducatif, avec ses contraintes et ses règles de fonctionnement. Signalons aussi qu'une même recherche, en particulier celles relatives aux projets longs d'enseignement, peut coordonner et développer plusieurs problématiques.

2.2. Quelques orientations théoriques des recherches

Malgré leur grande diversité, les recherches sur les dispositifs didactiques font des choix plus ou moins explicites sur les savoirs en jeu, ou plus généralement sur le contenu de la formation et sur l'apprentissage. Même si ces choix dépendent du cadre théorique général, nous prenons le risque de les présenter en distinguant "savoir" et "apprenant".

2.2.1. Sur les savoirs

La forte dépendance qui lie les situations de formation aux spécificités des savoirs à enseigner est au cœur des recherches didactiques, particulièrement en France. De nombreuses recherches s'appuient donc sur des hypothèses de nature épistémologique.

En mathématiques, une hypothèse, communément partagée sur le plan international comme le rappelle Hiebert (1994, p.141), consiste à envisager que les savoirs sont indissociables des problèmes qui leur ont donné naissance et qu'ils permettent de résoudre. De nombreuses recherches visant à construire ou analyser des situations d'enseignement en mathématiques commencent donc par un questionnement épistémologique : quelles sont les différentes classes de problèmes attachés aux savoirs en jeu ? quels aspects des savoirs engagent-ils ? Ce questionnement peut aussi bien concerner le savoir "savant" que le savoir scolaire voire professionnel dans certains domaines d'activité.

En sciences expérimentales, on trouve deux orientations aussi bien au niveau international qu'en France. L'une reprend l'hypothèse faite en mathématiques que les savoirs sont indissociables des problèmes qui leur ont donné naissance et qu'ils permettent de résoudre tout en ajoutant un aspect spécifique.

L'autre orientation est celle de la modélisation dans la mesure où les sciences expérimentales à la fois construisent des théories et des modèles et les utilisent. Ce processus essentiel dans le fonctionnement des sciences expérimentales est alors choisi pour élaborer le dispositif didactique. Ce choix n'exclut pas l'analyse épistémologique qui montre les ruptures d'ordre théorique dans l'évolution scientifique et entre connaissances naïves et savoir scientifique.

Dans ces deux orientations, l'analyse est marquée par l'idée que les connaissances scientifiques ont évolué avec des ruptures entre elles. Ainsi Kuhn a introduit aux changements de paradigmes (Kuhn, 1972), Bachelard (1938) a postulé que les savoirs scientifiques (en indiquant explicitement que son analyse laisse de côté les mathématiques) sont abordés comme un processus, une rectification, en rupture avec les connaissances scientifiques préalables.

Il faut aussi noter l'existence d'une entrée pour les dispositifs didactiques non par les savoirs de référence mais par les pratiques professionnelles. Même s'il y a évidemment très peu de recherches actuellement sur les dispositifs didactiques pour l'enseignement général qui choisissent cette entrée, mis à part l'enseignement de la technologie (Martinand 1986), ce n'est pas le cas pour la formation professionnelle. Le choix est alors soit de proposer des dispositifs de telles façons qu'il n'y ait pas d'élaboration de contenu d'enseignement, l'apprenant apprend en s'intégrant à la communauté (selon un modèle de type "apprenticeship"), soit de reconstruire une pratique professionnelle en classe et là des choix sont faits suivant la profession et l'analyse qui en est faite (cf. par exemple Education Permanente 111 & 123, 1992 & 1995).

Une autre hypothèse, élaborée en France en didactique des mathématiques et partagée par d'autres didactiques, concerne les contenus de formation et les objets de savoir dans l'enseignement (Chevallard, 1991). Elle consiste à postuler que les savoirs scolaires trouvent leurs références dans le savoir scientifique académique, dans les savoirs professionnels ou dans les pratiques sociales et que ces derniers subissent diverses transformations avant de devenir objets d'enseignement, l'ensemble de ces transformations étant désigné sous le terme de transposition didactique. Il est nécessaire également de souligner que les savoirs scolaires et disciplinaires ne se restreignent pas à des "textes de savoir" et à des savoirs discursifs mais relèvent aussi de démarches et de techniques (parfois instrumentées).

2.2.2. Sur l'apprentissage

Comme il a déjà été rapporté, une grande partie des travaux ont des hypothèses dérivées de l'école piagétienne, néo piagétienne, d'autres moins nombreux sont dans la lignée cognitiviste du traitement de l'information. Plus récemment, de nombreux travaux sont dans une lignée vygotskienne et un certain nombre dans celle de la cognition située.

Les travaux fondés sur des hypothèses issues des théories piagétienne et néo piagétienne centrent leur perspective sur le sujet apprenant d'un point de vue cognitif ou socio-cognitif. Nous renvoyons ici au conflit cognitif issu de la théorie de l'équilibration majorante, à sa dérivée le conflit socio-cognitif dans laquelle le conflit porte sur les connaissances non plus au sein d'un même individu mais entre plusieurs individus.

Rappelons que les conflits cognitifs trouvent leur origine dans une confrontation entre deux hypothèses du sujet. Les chercheurs ont souvent utilisé le conflit quand il y a contradiction, que le sujet peut constater, entre ses anticipations et prédictions, et les résultats de ses actions ou le déroulement des événements physiques. Ces contradictions créant une insatisfaction intellectuelle peuvent contribuer à l'évolution des connaissances par la construction d'une nouvelle conception qui dépasse la contradiction. Cependant, le conflit cognitif ne débouche pas nécessairement sur une telle restructuration. Il peut y avoir évitement du conflit ou adaptation par des modifications mineures. Lorsque le conflit cognitif n'est plus intra-individuel mais inter-individuel, il est alors

accompagné de verbalisations explicitant les décalages entre les points de vue des individus. Les conflits socio-cognitifs apparaissent donc comme des conflits de centration, mais vécus socialement. On a pu aussi constater que les interactions conflictuelles sont génératrices de progrès individuel, par exemple lorsqu'elles ont lieu au cours même d'une co-résolution de problème. Mais là encore, l'apparition d'un conflit socio-cognitif ne garantit pas une issue porteuse de progrès cognitif individuel (Laborde, 1991). Plusieurs études mettent en avant l'incapacité des conflits socio-cognitifs à agir sur un temps court (Johsua & Dupin, 1989, Peterfalvi, 2001). Actuellement, une autre perspective propose de concevoir des séquences d'enseignement qui introduisent les nouveaux savoirs en choisissant les aspects de ces savoirs compatibles, au moins partiellement, avec les connaissances initiales des élèves (Dykstra, 1992 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995 ; dans cette perspective, l'apprentissage est souvent vu comme une évolution avec des micro-changements progressifs (voir thème 2).

L'importance du contexte social dans les apprentissages est issue de l'école vygotkienne. Les hypothèses prises par les recherches renvoient aux notions de Zone Proximale de Développement, à l'étayage brunérien, enfin à la médiation sémiotique. Dans ces théories, intervient un autrui qui a une position différente par rapport à l'objet de l'apprentissage, il est plus expert et intervient de façon explicite pour modifier les connaissances de l'apprenant. Le plus souvent, il s'agit de l'enseignant qui occupe cette position. Ces hypothèses entrent en jeu dans la conception de séquences d'enseignement qui accordent un rôle moteur dans l'apprentissage aux interventions de l'enseignant (Duit et Treagust 1998).

La cognition située considère aussi le développement des facultés mentales des humains comme profondément marqué par les situations sociales dans lesquelles il a lieu mais elle va plus loin en postulant que la connaissance n'est qu'un phénomène émergent des activités et dépendant intimement des ressources particulières de la situation où ces activités prennent place (Lave 1988). Resnick (1991) écrit ainsi que " every cognitive act must be viewed as a a specific response to a specific act of circumstances ". Il est à remarquer que le mot " situation " qui sert justement à qualifier le type de cognition envisagé apparaît ici avec le sens qu'il a dans la communauté anglo-saxonne, celui de contexte tant sur le plan matériel qu'intellectuel et social. L'hypothèse de cognition située n'est pas reprise de façon aussi stricte dans la construction de dispositifs didactiques ; c'est souvent l'hypothèse selon laquelle le contexte et les ressources influent sur l'activité cognitive de l'apprenant, qui est gardée dans la construction de dispositifs didactiques autour d'un artefact (Noss & Hoyles 1996), ou dans la construction de " milieux " favorisant des apprentissages en mathématiques (cf. § 3.1.3).

Notons aussi que les résultats sur divers aspects des métaconnaissances peuvent fournir des hypothèses d'apprentissage importantes pour construire de dispositifs didactiques, nous renvoyons le lecteur au thème 3 sur les articulations de différents types de savoir pour leur présentation.

3. PROBLEMATIQUES ET RESULTATS DES TRAVAUX

Comme annoncé, la présentation des recherches qui est faite comporte deux volets, celui de la construction de dispositifs didactiques et celui de l'étude du fonctionnement ordinaire des dispositifs didactiques. Au sein de chaque volet, les recherches sont présentées par leur problématique dominante.

3.1. Construction de dispositifs didactiques de formation et d'apprentissage

L'objectif commun de toutes les recherches menées dans cette perspective est de travailler sur les rapports entre enseignement et apprentissage et d'identifier les caractéristiques des dispositifs d'enseignement permettant d'améliorer les apprentissages réalisés par les élèves.

Dans cette perspective, nous regroupons un continuum de recherches allant d'expérimentation de situations construites avec essai d'explicitation complète des conditions mises en place et validation des hypothèses faites, aux recherches actions dans lesquelles les situations construites sont mises au point dans une succession d'essais en classe.

3.1.1. L'articulation savoir - apprenant

Les recherches en didactique, que ce soit des sciences ou des mathématiques, ont débuté en s'attaquant à cette articulation. En effet, bien souvent la motivation à mener des recherches provenait du constat selon lequel les élèves n'apprenaient pas ce que l'on croyait leur enseigner. La problématique principale d'une majorité des

recherches a donc porté sur cette articulation. Il y a tout d'abord les recherches qui s'inscrivent dans le courant dit "constructiviste". Dans ce courant très large, qui a débuté dès les années 70, l'objectif est l'évolution des connaissances des élèves relativement à des savoirs donnés. On peut considérer à la suite de Méheut (1998), que les recherches ont pour dénominateur commun de tenir compte des conceptions initiales des élèves. En sciences, ces connaissances peuvent être ce qu'on appelle des connaissances naïves issues de l'environnement quotidien. En mathématiques, il s'agit le plus souvent de connaissances déjà issues des enseignements précédents. On peut voir là une référence commune aux théories cognitivistes de l'apprentissage. Les didacticiens se réclamant du constructivisme se placent, très majoritairement, dans une perspective d'origine piagétienne d'élaboration des connaissances par les élèves.

Nous reprenons les distinctions proposées ci-dessus à propos des hypothèses sur les savoirs pour présenter les recherches. D'une part sont présentées les recherches donnant une grande place aux problèmes ou plus généralement aux situations problématiques pour l'apprentissage, d'autre part sont présentées les recherches centrées sur les processus de modélisation.

Problèmes et situations problématiques

Cette approche a été choisie suivant les chercheurs à partir de différents choix théoriques.

Nous en distinguons plusieurs types.

1. Le problème y est pensé en référence au fonctionnement de la recherche disciplinaire en fonction de considérations épistémologiques sur le savoir disciplinaire ou par référence aux pratiques sociales du chercheur ; l'élève est considéré comme un chercheur novice. Le problème est aussi pensé en référence à des considérations psychologiques en termes de changement conceptuel (voir thème 2) (Gil & Carrascosa, 1985 ; Gil, 1996).
2. Le problème y est pensé en fonction de considérations psychologiques dans le courant du traitement de l'information. Ce courant a donné lieu à des propositions où la stratégie de résolution de problème devenant explicite est un objet d'enseignement.
3. Le problème à partir de considérations épistémologiques et psychologiques y est considéré comme lieu d'exercice, d'explicitation et de modification des connaissances. Ainsi Vergnaud (1981), dans le cas de la didactique des mathématiques, a-t-il été un pionnier dans cette imbrication entre hypothèses épistémologiques, où le savoir mathématique se construit avec la résolution de problèmes, et hypothèses d'apprentissage construites dans une perspective piagétienne.

Déclinant de façon diverse ce point de vue théorique, certaines recherches ont pu mettre davantage l'accent sur l'un des aspects de l'usage des problèmes comme lieu de fonctionnement et d'évolution des connaissances des élèves.

Le problème est par exemple considéré comme un lieu pertinent pour l'apprenant d'explicitation des concepts et connaissances associées (par exemple la nécessité de connaître des moyens de vérification comme le passage à la limite, ou des schémas types pour des situations expérimentales typiques) (Reif & Allen, 1992). En France, ce courant est représenté en physique (Caillot & Dumas-Carré, 1987, Dumas-Carré & Gomas, 2001). Il insiste sur le rôle des représentations externes intermédiaires et plus généralement sur les aides métacognitives pour aider l'élève à construire une représentation mentale du problème.

Dans d'autres cas, le problème ou plutôt la situation problématique vise à permettre aux élèves d'explicitier leurs connaissances préalables (voire naïves, dans certains cas en sciences) afin qu'il y ait opposition entre ces connaissances et les résultats d'expériences ou d'observations. Il y aurait ainsi confrontation des idées entre plusieurs élèves ou confrontation interne à un élève. Ce choix du côté psychologique se fonde sur le conflit cognitif ou socio-cognitif (Scott et al. 1992).

Nous détaillons le dernier type (type 3) car il correspond à un nombre important de travaux dont certains sont particulièrement représentés en France.

Situation problématique en lien avec le conflit cognitif ou socio-cognitif

En sciences expérimentales, du fait de l'importance de l'écart entre connaissances préalables ou connaissances naïves, de nombreuses recherches ont proposé des séquences d'enseignement dans le courant du changement conceptuel (voir thème 2), qui mettent en oeuvre des situations problématiques favorisant le conflit cognitif ou socio-cognitif. Scott et al. (1992) ont proposé quatre catégories de stratégies vis-à-vis du conflit :

1) Les stratégies où le conflit est nécessaire à l'apprentissage et doit être reconnu par l'élève au début de l'enseignement ;

- 2) Les stratégies qui introduisent d'abord le "point de vue alternatif" et mettent le conflit en évidence plus tard ;
- 3) Les stratégies où le conflit apparaît comme un élément essentiel de l'apprentissage ;
- 4) Les stratégies visant à éviter les conflits.

A la suite de Méheut (1998), on peut considérer que ce courant a dominé les travaux sur les séquences d'enseignement dans les années 80. Dès la fin de ces années 80, des doutes sont apparus (Nussbaum, 1989) : malgré ces stratégies, les étudiants modifiaient peu ou pas leurs connaissances initiales. Les stratégies se sont complexifiées. Ainsi en France, on peut citer à titre d'exemple les travaux de Johsua et Dupin (1989, 1993) qui, partant de l'insuffisance des situations de conflits cognitifs pour dépasser les obstacles, proposent un travail didactique fondé sur la modélisation et le "débat scientifique" dans la classe. Ils se placent dans le cadre d'une physique explicative. Il s'agit alors de prendre les conceptions des élèves comme base explicite d'un processus de modélisation et suivre ce qu'ils nomment une "démarche de preuve". Le dépassement de l'obstacle rend nécessaire, en général, un apport extérieur qui réoriente les élèves et modifie radicalement le cadre de leur réflexion. Ainsi peut-on envisager l'introduction par le maître d'analogies modélisantes (par exemple le train en électrocinétique). Tout cela doit se placer dans un processus long, qui inclut des situations qui élargissent l'espace de significations initiales, en s'appuyant en particulier sur la dialectique outil-objet proposée par Douady (Johsua et Dupin, 1993, pp. 337). Ultérieurement, d'autres séquences sont aussi fondées sur des situations problèmes où les élèves doivent prédire ce qui doit se passer puis faire l'expérience (Lemeignan & Weil-Barais, 1992).

Toujours en France, dans les années 80 des recherches font référence au concept d'objectif obstacle développé par Martinand (1986). Les savoirs scientifiques y sont abordés comme un processus, une rectification, en rupture avec les connaissances communes. Ce sont des réponses à des questions bien posées et c'est la relation problème-solution qui leur donne sens. Cependant, dans les sciences de la nature, et particulièrement dans les sciences de la vie, il est difficile de forger des situations qui laissent à la fois aux élèves une liberté de pensée et garantissent, par elles-mêmes, le point d'arrivée. La situation doit intégrer le caractère flexible de ce qui est proposé aux élèves et les aspects adaptatifs du dispositif. Que doit construire l'enseignant a priori ? Que doit-il introduire de façon adaptative, en fonction de l'activité réelle des élèves ?

Ainsi, plusieurs recherches INRP, dont le cadre théorique est axé sur ces "objectifs-obstacles", étudient-elles la mise en œuvre de dispositifs qui facilitent le dépassement des obstacles par les élèves. De nombreux dispositifs sont centrés sur des problèmes à résoudre, qui présentent une grande variété. Ils favorisent un fonctionnement en débat scientifique dans la classe, avec des interactions entre pairs. Enfin, le travail est pensé non pas sur quelques séquences, mais sur un temps prolongé.

Astolfi et Peterfalvi (1993) remarquent que les "situations" centrées sur le dépassement d'obstacles apparaissent très exigeantes : un climat de classe qui autorise l'erreur et la prise en compte de idées des élèves, une stratégie qui ne se réduit pas à une situation mais qui prévoit la reprise du travail de l'obstacle sur d'autres exemples. Des recherches plus récentes (Astolfi & Peterfalvi, 1997) montrent, par ailleurs, la nécessité de diversifier les stratégies didactiques et de travailler à l'identification a posteriori de l'obstacle par les élèves.

Actuellement, en didactique des sciences, une nouvelle problématique émerge, en considérant la nécessité de construction du problème plus que la résolution, et la nécessité de débats entre élèves pour la construction de raisons et d'un "espace-problème". Orange (1997, 2000) a ainsi étudié l'espace des contraintes en jeu et les conditions de possibilité d'un "débat problématisant" (enseignement sur la nutrition et sur la locomotion en primaire, sur le volcanisme et sur la modélisation de compartiments en biologie cellulaire et en écologie au secondaire).

Le problème comme lieu de fonctionnement ou d'émergence de connaissances

Les questions auxquelles cherchent à répondre les recherches en didactique des mathématiques sont celles de l'identification des classes de problèmes correspondant à des fonctionnements des connaissances différant tant par les signifiés que par les signifiants en jeu dans la résolution. Il s'agit aussi de mettre en évidence des caractéristiques des tâches (appelées *task variables* par Lesh, 1985, et en France *variables de commande* ou *variables didactiques* lorsqu'elles sont utilisées à des fins didactiques) dont le changement de valeur favorise des changements de stratégie chez les élèves. A cette fin, les processus de résolution des problèmes sont analysés par les recherches, qui dégagent les stratégies des élèves et les invariants conceptuels sous jacents à ces stratégies ainsi que le traitement des signifiants utilisés.

L'évolution de ces stratégies et traitements est considérée comme révélatrice d'apprentissages. "*C'est pourquoi aussi c'est un vrai travail du psychologue, du didacticien, de l'enseignant que de dénicher les conceptualisations sous-jacentes aux conduites des élèves, aux procédures qu'ils utilisent, à leurs erreurs.*" (Vernaud 1994, p.181). En mathématiques, les situations d'enseignement sont construites comme une suite articulée de problèmes qui constituent un processus réalisé en classe avec des interventions de l'enseignant et des phases collectives gérées

par ce dernier. L'ordre et l'articulation des problèmes sont décisifs dans cette construction de cette suite de problèmes, puisque les stratégies de résolution des élèves peuvent être issues de nouvelles stratégies développées à l'occasion de problèmes antérieurs. La suite ordonnée des problèmes est donc le plus souvent choisie en fonction de l'évolution souhaitée des stratégies des élèves.

Les premiers exemples très représentatifs en sont les "*situations et processus didactiques sur les nombres rationnels positifs*" (Rouchier, 1980), "*l'expérience didactique sur le concept de volume*" (Vergnaud et al., 1983), une suite ordonnée de situations-problèmes mettant en jeu la notion de cercle (Artigue & Robinet, 1982), l'enseignement des rationnels et l'introduction d'irrationnels à l'école primaire (Douady 1984). La question centrale est d'identifier si la suite de situations permet les apprentissages visés dans le temps didactique : "*Il existe un temps long de la psychogenèse, bien connu des psychologues, qui se mesure en années et qui permet d'établir des hiérarchies dans la complexité des problèmes et des concepts mathématiques. Il existe aussi un temps court de la psychogenèse, moins bien étudié que le premier et pourtant essentiel en didactique, qui concerne l'évolution des conceptions et des pratiques d'un sujet ou d'un groupe de sujets face à une situation nouvelle.*" (Vergnaud 1983, p. 24). Douady (1986) a distingué les rôles outil et objet des concepts dans les situations problèmes et proposé l'organisation d'une dialectique entre ces deux rôles dans l'ordonnement des problèmes donnés aux élèves. Les problèmes sont construits et ordonnés de façon à ce que les concepts soient d'abord outils implicites de solution, puis institutionnalisés ils deviennent objets et sont réinvestis dans la solution de problèmes en tant qu'outils explicites

Modèles et modélisation

En sciences expérimentales des recherches sur les dispositifs didactiques se sont fondées sur l'activité de modélisation comme essentielle en sciences. Ce courant est particulièrement fort en France même s'il y a des recherches à l'étranger (Hestenes, 1987 ; Gilbert & Boulter, 1998 ; Halloun, 2001). Dans l'élaboration de dispositifs didactiques, les questions qui se posent sont du type : quels sont les théories et les modèles à enseigner ou enseignés ? A quel champ expérimental une théorie ou un modèle va-t-il être associé ? Quels sont les théories et modèles dans le savoir scientifique de référence ?

En France, dès les années 85, la conception de séquences d'enseignement a mis en jeu des modèles précurseurs ou germes de modèle explicites souvent associés à des représentations externes, construites *ad hoc*, ou reprises de la pratique scientifique (Larcher 1994, Lemeignan & Weil-Barais, 1993 ; Méheut, 1997, 1998).

Ultérieurement deux courants de recherche ont émergé.

Dans l'un des courants, les recherches analysent les relations entre registre empirique et registre des modèles et considèrent les démarches de modélisation que les élèves sont capables de développer dans l'apprentissage des sciences (Martinand et al., 1992, 1994 ; Orange, 1997). L'enjeu de l'apprentissage n'est pas l'acquisition d'un modèle lui-même (modèle savant ou "modèle didactique"), mais l'appropriation d'outils cognitifs qui permettent des démarches de modélisation. Ces recherches étudient comment les activités scolaires peuvent contribuer à ce que l'élève établisse, de façon dynamique, des relations entre des objets et des phénomènes scientifiques et une construction intellectuelle. Les référents empiriques (Martinand, 1986) y représentent l'ensemble des objets, des phénomènes scientifiques et des tâches sur ces objets et ces phénomènes qui sont sollicités pour l'élaboration intellectuelle des concepts et des modèles (cf. note²). Des études tendent à mieux connaître les situations de formation "initiales", c'est-à-dire destinées à la familiarisation des élèves aux objets et aux phénomènes scientifiques, en particulier pour les plus jeunes (Fleer, 1995, voir aussi Didaskalia n°7 1995), ou nécessaires pour "entrer" dans la constitution d'un référent empirique (Coquidé, 2000).

Dans l'autre courant, des hypothèses mettent en jeu le fonctionnement du savoir enseigné et celui des élèves. Le savoir à enseigner en physique y est décomposé en théories et/ou modèles d'une part et en une description du champ expérimental en termes d'objets et événements d'autre part ; de même les connaissances des élèves (naïves et scientifiques) sont décomposées en des cadres théoriques et des descriptions en termes d'objets et

² Ces recherches distinguent, dans le registre empirique, la phénoménotechnie et la phénoménographie provenant des artefacts (et sur laquelle il est indispensable que les élèves se mettent d'accord), et la phénoménologie (où se situe le plus souvent l'enseignant) qui représente la projection du modèle explicatif. La recherche associative INRP-Lirest (Martinand et al., 1992, 1994) a ainsi étudié différents domaines : la modélisation particulière, la modélisation en mécanique, la modélisation de la compartimentation dans les sciences de la vie. Les expérimentations, conduites dans plusieurs classes, ont mis en avant l'importance pour les élèves de l'élaboration de symboliques graphiques comme outils de production de significations nouvelles ou comme outils de la cohérence du modèle scientifique construit. Les recherches mettent aussi en avant que de nombreuses opérations intellectuelles sont généralement nécessaires dans une démarche de modélisation : des opérations qui peuvent s'avérer difficiles dans le temps qui est le plus souvent imparti aux séquences d'enseignement.

d'événements. L'apprentissage est vu en termes de construction du sens en situation plutôt que comme une modification de la performance à résoudre des problèmes, l'hypothèse essentielle étant que la construction du sens se fait à partir d'établissement de relations entre éléments de connaissances, en particulier entre les descriptions d'objets et événements et les concepts, ou à la suite de Duval (1995) entre les registres sémiotiques d'un même concept ou d'une même relation (Buty, 2000 ; Guillaud, 1998 ; Tiberghien 2000, Vince, 2000). Ces hypothèses sont utilisées pour élaborer des dispositifs didactiques, elles deviennent alors des contraintes sur la mise en scène du savoir en situation (Vince et Tiberghien, 2000 ; Séjourné, 2000). Cette approche conduit à varier les situations d'enseignement en fonction du type de savoir visé. Par exemple, quand l'apprentissage porte sur la reconnaissance perceptive d'événements (inconnus au départ des élèves) et sur la maîtrise du langage naturel, pour les décrire, la situation va comporter des expériences, très simples et très aisément manipulables, associées à des questions adéquates, etc. Une situation bien différente sera construite quand il s'agit, pour les élèves, d'établir et de comprendre des relations entre grandeurs physiques à partir de mesures qu'ils réalisent (Tiberghien, 2000). Il faut souligner que cette entrée n'exclut pas l'utilisation de problèmes, mais l'analyse du savoir se fait prioritairement par la modélisation.

Mentionnons enfin, que même en mathématiques, la dimension modélisatrice des savoirs peut être au cœur des constructions de dispositifs. Ainsi des chercheurs italiens (Bartolini Bussi & Boero 1998, Bartolini Bussi et al. 1999, Douek 1999) soulignent que le choix des problèmes, et plus largement du thème mathématique sur lequel porte l'étude qui débouche sur la construction de preuves en géométrie, est fondamental. Ils considèrent que le choix de faire produire des théorèmes (selon leur expression) par des élèves est particulièrement pertinent lorsque la géométrie apparaît comme un outil de modélisation de phénomènes fondamentaux de l'expérience quotidienne des élèves, tels les ombres produites par le soleil ou la représentation en perspective. Cette approche confère une valeur culturelle à la géométrie qui déborde le strict plan mathématique. Les conceptions premières des élèves élaborées dans le cadre de la vie quotidienne sont erronées dès qu'il s'agit d'aller au-delà des premières évidences. La dimension théorique de la géométrie est ainsi construite comme permettant d'avoir un contrôle plus étendu sur ces phénomènes mal maîtrisés.

3.12. Les relations apprenants – enseignant

Les situations d'enseignement sont, par essence, de nature sociale puisqu'elles mettent en jeu des acteurs (enseignant et apprenants) dont la position est dissymétrique par rapport aux savoirs, charge à l'enseignant de permettre aux élèves l'accès à de nouvelles connaissances, non seulement par le type de tâches données à faire mais aussi par ses interventions.

Plusieurs recherches, se référant à la psychologie sociale de Vygotski, ont donné une part importante aux interactions entre partenaires de la relation didactique. Ont été dégagés et étudiés les processus de médiation, de tutelle et de co-construction.

Les processus de médiation et de tutelle

Dans cette perspective, Dumas Carré et Weil-Barais (1998) ont étudié les interactions humaines dans la classe de physique, en prenant en compte les aspects langagiers mais aussi les manifestations émotionnelles (gestes, mimiques...) ou conventionnelles, telles les routines. Les analyses et les comparaisons des interactions didactiques, avec des enjeux essentiels de formation de maîtres, ont conduit à distinguer deux postures du professeur : soit de tutelle, soit de médiateur. Dans le cadre de la tutelle, qui se rapproche de la conception d'étayage de Bruner (1983), l'enseignant est un tuteur qui exerce une action sur l'élève, c'est le diagnostic de l'état de progression des élèves et l'exécution des tâches de celui-ci qui déterminent ses interventions. Dans un cadre de médiation, l'enseignant est un médiateur, intermédiaire entre, d'une part, le "monde" des connaissances et des pratiques scientifiques et, d'autre part, les élèves. "Sa fonction est de négocier avec les élèves des changements cognitifs" et c'est le rapport au savoir qui est travaillé. Les corpus, provenant de plusieurs classes, ont conduit à caractériser les moments de tutelle et de médiation, et à étudier la construction d'une co-référence, en particulier lors de l'interprétation d'une situation expérimentale.

Des recherches italiennes sur des enseignements sur le long terme utilisent les discussions collectives dans lesquelles l'enseignant organise et gère des discussions et débats entre élèves (Bartolini Bussi, 1996, Bartolini Bussi & Mariotti, 1999, Bartolini Bussi et al., 1999, Douek 1999, Boero et al. 1995). L'organisation de ces discussions repose sur l'hypothèse de zone de développement proximal et de médiation du langage de Vygotski. Les verbalisations des élèves sont sollicitées pour leur permettre l'avancée dans la conceptualisation. L'enseignant cherche à instaurer un débat et une collaboration entre élèves pour améliorer les formulations et aboutir à des formulations évoluant de celles de la pratique quotidiennes vers d'une pratique scientifique. Bartolini Bussi (1999) montre ainsi à propos d'un enseignement sur les engrenages en 4^{ème} année d'école élémentaire comment des élèves qui n'avaient pu produire d'écrit rendant compte du fonctionnement des

engrenages, arrivent à s'exprimer grâce aux apports des autres qui suggèrent des mots, des formulations qui leur manquent dans une discussion collective organisée par l'enseignant.

D'une part, la discussion est partie intégrante de la conception de l'enseignement et participe à l'évolution des conceptions des élèves, d'autre part elle donne des observables sur cette évolution à l'enseignant qui s'en saisit pour organiser la suite de l'enseignement. Le rôle de l'enseignant est fondamental pour organiser cette évolution des formulations au travers des interactions entre élèves, il ne peut être défini qu'*in situ* au fur et à mesure de l'avancée dans l'enseignement. Dans ce type d'organisation didactique l'enseignant est partie intégrante de la définition de la recherche, elle nécessite une grande compétence de l'enseignant et donc une formation. Ces recherches diffèrent profondément de ce point de vue de celles du deuxième pôle, qui analysent des situations ordinaires. Les résultats portent donc sur l'évolution des connaissances des élèves, évaluée à l'aide de leurs verbalisations et de leurs écrits. Une grande attention est portée aux termes utilisés par les élèves, à leurs dessins et schémas, en tant que révélateurs de leurs connaissances. Douek (*ibid.*) montre ainsi comment des argumentations d'élèves évoluent pour expliquer les modifications de l'ombre d'un bâton au soleil pendant la journée et débouchent sur la conceptualisation de la notion d'inclinaison, alors que les conceptions initiales des élèves étaient centrées sur la hauteur au sens habituel du soleil. Dans cette problématique, le recours aux registres sémiotiques est à la fois source et critère de l'évolution des connaissances.

Le concept de signification partagée construite au cours des échanges est sous-jacent dans ces recherches italiennes qui donnent une place importante à la discussion collective mais il n'y joue pas le rôle central que lui accordent certaines recherches nord-américaines en didactique des mathématiques ou des sciences, comme décrit ci-dessous.

Les processus de co-construction et le concept de signification partagée

En didactique des mathématiques, Cobb, Yackel et Wood en collaboration avec Voigt ont conduit de nombreuses recherches de type ethnographique à l'école primaire sur la constitution de significations partagées à propos de concepts additifs ou soustractifs (Cobb & Yackel 1996, Cobb, Wood, Yackel & Mc Neal 1992, Voigt 1996, Yackel & Cobb 1996). S'inspirant de l'interactionnisme symbolique (Blumer 1969), ils cherchent à repérer comment la signification émerge du processus d'interaction sociale en classe. En menant cette étude, ils ont développé le double concept de *normes sociales* et *normes socio-mathématiques* qui se forment dans la classe. Ils ont en particulier analysé les normes relatives aux explications et justifications produites par les élèves en classe de mathématiques. Ils ont repéré comment les normes sociales relatives à ce qui comptait pour l'explication dans la classe pouvaient devenir des normes socio-mathématiques au sens où les raisons avancées par les élèves s'appuyaient sur des objets et des opérations mathématiques qui font partie du domaine d'expérience des autres participants. Le rôle de l'enseignant est critique dans la constitution et l'avancée de ces normes, il pousse les élèves à préciser leur pensée, à fournir une explication en termes compréhensibles par tous (Yackel 2001).

Scott (1998) propose une revue de différentes recherches concernant l'apprentissage des sciences, qui se situent dans un tel cadre d'analyse. Dans ces études, développées principalement en Amérique du Nord, les analyses se centrent sur les différents rôles de l'enseignant dans la co-construction de savoirs et sur l'importance du langage. Il apparaît que les façons dont l'enseignant "parle aux élèves" des activités sont aussi importantes que les activités elles-mêmes, par exemple la façon avec laquelle les différents arguments sont introduits dans les discussions, la façon dont les phénomènes sont présentés, les idées importantes répétées, les aides pour résumer et structurer les idées... Aussi, Solomon (1994) souligne la nécessité de mieux questionner les façons dont les connaissances expertes de l'enseignant peuvent aider les élèves à apprendre quelque chose sur la manière dont le monde est modélisé par la communauté scientifique.

Les conclusions sont voisines dans Hewson, Beeth, Thorley, (1998) qui mettent en avant plusieurs points à mettre en œuvre pour un enseignement favorisant les changements conceptuels :

- prise en compte des idées des élèves et des enseignants comme une part explicite du discours de la classe, encouragement des élèves à considérer différentes idées, discussion et négociation.
- encourager la confrontation des connaissances que les élèves ont structurées avec leurs connaissances naïves ou leurs connaissances initiales (pré test), Incitation des élèves à réfléchir sur leurs expériences d'apprentissage.

La dimension métacognitive et le rôle que peut y jouer l'enseignant apparaissent donc importants dans ces recherches sur l'émergence de significations socialement partagées dans la classe. Dans un autre cadre théorique, celui du dépassement d'obstacle, Peterfalvi a analysé l'intérêt de l'activité métacognitive (Peterfalvi, 2001) quant au travail sur les obstacles. Les enseignants ont ainsi facilité les activités réflexives d'élèves de collège, en

organisant une alternance de phases immergées dans l'action (organisées autour d'une question scientifique à résoudre) et de phases distanciées (organisées autour du réexamen comparatif du travail accompli et des démarches mises en œuvre, prise de conscience et régulation cognitive des élèves, formulations d'obstacles et attentes quant à leur évitement). La justification des idées et le statut des décisions y représentent ainsi une composante explicite de l'enseignement.

Dans le même ordre d'idées, il semble qu'un enseignement de méthodes associé la confrontation des élèves à des situations problématiques puisse être à l'origine de progrès dans les compétences des élèves de fin de lycée en mathématiques à savoir démarrer et évoluer dans des problèmes ouverts (Robert & Tenaud 1988).

3.1.3. L'articulation savoir - situation

Dans ces recherches, le savoir (au sens large) apparaît comme une référence essentielle de théorisation, et les références épistémologiques y sont fortes. Cependant, ce qui caractérise cette problématique réside dans l'hypothèse que les savoirs ne fonctionnent pas de façon isolée mais en situation : la situation étant définie par des éléments de nature matérielle, conceptuelle et sociale (y compris culturelle). Nous rattachons aussi à cette approche savoir-situation les théories de la cognition située, dans lesquelles les savoirs n'ont d'existence que contextualisés.

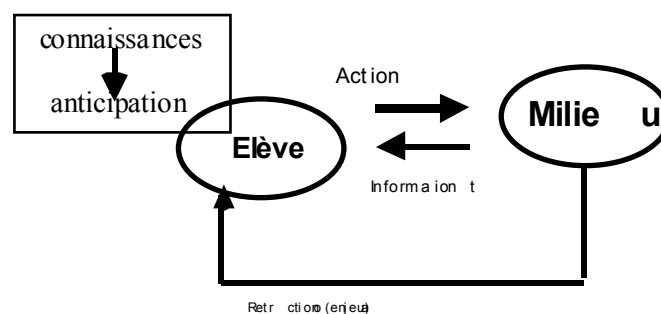
Cette approche a été développée en didactique des mathématiques. Le terme "situation" quitte ici l'acception courante que nous lui avons donnée dans ce texte en parlant de situation d'enseignement. La situation est un construit théorique, rendant compte des conditions mathématiques dans lesquelles fonctionnent les connaissances des élèves. L'exemple prototypique de cette approche est certainement la théorie des situations didactiques élaborée par Brousseau dans le cadre de la didactique des mathématiques qui repose sur deux hypothèses :

- une hypothèse psychologique sur l'apprentissage par adaptation issue de la théorie psychogénétique piagétienne : Le sujet apprend en s'adaptant (assimilation et accommodation) à un milieu qui est producteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres (cf. §2).
- une hypothèse didactique : Un milieu sans intentions didactiques (c'est-à-dire non volontairement organisé pour enseigner un savoir) est insuffisant à induire chez un sujet toutes les connaissances que la société souhaite qu'il acquiert. L'enseignant doit donc provoquer chez les élèves les adaptations souhaitées par un choix judicieux des situations qu'il lui propose.

Les conséquences de ces hypothèses amènent à introduire le modèle situation adidactique / situation didactique (Brousseau, 1986). Une situation est a-didactique si elle se présente comme un authentique problème pour l'élève qui cherche à trouver une réponse en engageant ses connaissances et non en cherchant à satisfaire les intentions de l'enseignant qu'il essaie de deviner (effets de contrat didactique). Une situation adidactique est construite par l'enseignant et le chercheur avec certes des intentions didactiques mais l'usage de connaissances pour sa résolution doit ne dépendre que de la logique de la situation et non d'un raisonnement faisant appel au contexte didactique (Brousseau, 1998, p. 30). Brousseau va même plus loin, il affirme que chaque objet de savoir peut-être caractérisé par une ou plusieurs situation(s) didactique(s) qu'il appelle situation(s) fondamentale(s).

L'apprentissage est une modification du rapport à la connaissance produite par l'élève lui-même, que l'enseignant peut seulement favoriser par des choix (volontaires ou involontaires) de valeurs de variables de tâche de la situation adidactique : variables didactiques.

La théorie des situations souligne le rôle crucial du milieu, milieu sur lequel l'élève agit, avec lequel il interagit et dont il reçoit des rétroactions : ces rétroactions reçues par l'élève comme une sanction, positive ou négative, relative à son action lui permettent d'ajuster cette action, d'accepter ou de rejeter une hypothèse, de choisir entre plusieurs solutions selon le schéma suivant :



Pour qu'une situation puisse être vécue comme adidactique par l'élève, il faut au minimum les conditions suivantes :

- l'élève peut envisager une réponse mais cette réponse initiale (procédure de base qui est relative aux savoirs et connaissances antérieurs) n'est pas celle que l'on veut enseigner : si la réponse était déjà connue, ce ne serait pas une situation d'apprentissage.
- cette procédure de base doit se révéler très vite insuffisante ou inefficace pour que l'élève soit contraint de faire des accommodations, des modifications de son système de connaissance. Il y a incertitude de l'élève quant aux décisions à prendre ; la tâche proposée sort des domaines d'efficacité ou de fonctionnement de la procédure de l'élève
- la connaissance visée est a priori requise pour passer de la stratégie de base à la stratégie optimale
- il existe un milieu pour la validation : le milieu permet des rétroactions
- le "jeu" est répétable.

La caractérisation d'une situation se fait par celle du milieu associé et l'évolution de l'élève est décrite comme une interaction avec le milieu. Le milieu est constitutif du sens de la situation pour l'élève, il est facteur potentiel d'évolution de l'élève dans le processus de résolution, comme cause des adaptations. Il joue donc un rôle central dans l'apprentissage.

Les situations d'action, de formulation et de validation se distinguent par une organisation différente du milieu (Brousseau, 1986), organisation qui appelle un fonctionnement de nature différente des connaissances. Une situation d'action sollicite l'élaboration de connaissances pour agir et prendre des décisions. Une situation de formulation sollicite l'élaboration de formulations (en langage naturel ou tout autre registre) pour se faire comprendre d'un autrui partenaire et permettre à cet autrui d'agir. Une situation de validation sollicite l'élaboration de formulations pour justifier les actions et les décisions faites face à un autrui opposant. Cette théorisation est dépendante des spécificités du fonctionnement des savoirs mathématiques. Les mathématiques exigent en effet pour leur avancée le développement de registres spécifiques et reposent sur un système de validation bien particulier, celui de la démonstration.

Les résultats dans cette approche consistent à produire des organisations de situations relativement à des savoirs spécifiques et à en identifier les variables didactiques qui permettent l'apparition de nouvelles stratégies de la part des élèves qui constitueront des apprentissages. En particulier les élèves sont amenés à étendre le domaine de validité de certaines de leurs procédures ou à remplacer des procédures inadéquates par d'autres plus adaptées. Il y a là par ricochet un second type de résultats portant sur l'évolution des connaissances des apprenants.

Ainsi des procédures de calcul sur les nombres décimaux, très présentes chez les élèves, consistent à opérer sur des nombres décimaux comme si un décimal était un couple de deux entiers (Ex : $5,18 + 6,3 = 11,21$). Brousseau a montré que ces procédures tirent leur origine de l'enseignement des décimaux fait à l'aide d'exercices de conversion de nombres exprimés dans différentes unités sous forme de tableaux. Il qualifie la conception associée d'obstacle didactique. Il a donc élaboré un processus didactique comportant de nombreuses situations didactiques donnant un sens très différent des nombres décimaux, ils ne tirent plus leur genèse des nombres entiers mais des fractions. L'expérimentation en classe selon une méthode d'ingénierie didactique (cf. plus bas) constitue la validation des résultats. Nombre de situations ont ainsi été élaborées à différents niveaux scolaires, en particulier à l'école élémentaire par Brousseau lui-même sur les nombres décimaux et les fractions par exemple.

En didactique des sciences, il s'agit de construire des dispositifs didactiques plus ou moins contraints, sur des critères liés aux contenus scientifiques à construire. Plusieurs recherches francophones donnent une place importante, dans ces situations, aux obstacles rencontrés pour l'apprentissage de savoirs scientifiques : obstacles épistémologiques attachés spécifiquement aux concepts ou de nature psycho-génétique attachés à l'apprenant en tant que sujet cognitif (en opposition à des obstacles de nature didactique, introduits par les choix de présentation des savoirs dans l'enseignement, Brousseau 1983). Citons aussi un essai d'utilisation de la théorie des situations pour l'apprentissage de la notion de concentration molaire en Première Scientifique (élèves de 16-17 ans) (Tsoumpelis & Gréa 1995). Des situations didactiques ont été conçues avec un jeu sur des variables qui ne s'avèrent que partiellement satisfaisantes pour décrire les stratégies des élèves. Les valeurs des variables choisies conduisent bien les élèves à reconstruire le sens de la concentration molaire mais ne jouent aucun rôle sur les explications du phénomène d'osmose, c'est-à-dire sur les processus de modélisation des élèves de ce phénomène. Cette recherche est intéressante en ce qu'elle montre la difficulté d'exportation dans un autre domaine disciplinaire d'une théorisation conçue dans le domaine disciplinaire spécifique des mathématiques. Les processus de modélisation ne se laissent pas appréhender comme outils de solution de problèmes à la manière des concepts mathématiques.

3.1.4. Interrelations entre apprenant et artefact

Les artefacts, au sens de réalités artificielles créées par les hommes pour soutenir et étendre leurs activités de type matériel ou intellectuel, sont divers et très présents dans l'enseignement scientifique, allant de systèmes de représentation ou d'expression aux environnements informatiques en passant par les instruments scientifiques ou mathématiques.

Avant l'avènement des nouvelles technologies dans le monde éducatif, le matériel expérimental était déjà présent depuis longtemps dans l'enseignement scientifique et son usage a fait l'objet de recherches. Dans ce qui suit, nous rendons compte d'abord des recherches sur les travaux pratiques, en particulier la feuille de travaux pratiques, puis des recherches sur les technologies d'information et de communication dans l'enseignement scientifique et mathématique.

Les travaux pratiques

Dans l'enseignement des sciences expérimentales en particulier, de nombreuses recherches se sont consacrées aux Travaux Pratiques dans les apprentissages en sciences. R. Lazarowitz et P. Tamir (1994) ont effectué une revue de questions relatives au laboratoire scolaire, à travers les revues de sciences de l'éducation anglophones, de 1954 à 1990. Dans cette synthèse, deux problèmes essentiels émergent : celui des finalités des activités scolaires menées en salle spécialisée et des Travaux Pratiques, et celui des facteurs qui facilitent le succès des apprentissages dans ce contexte (quelle place pour ces activités dans le curriculum ? quelles sont les ressources pédagogiques et didactiques sollicitées ? quel environnement d'apprentissage et quelles interventions de l'enseignant ? ou bien encore quelles stratégies d'évaluation des élèves ?).

Dans les recherches récentes, il faut noter un projet européen (1995 – 1997) intitulé "Labwork in science education" et coordonné par Séré (1998) qui a porté sur les activités de laboratoire au niveau du lycée et du début de l'université. Ce travail a en particulier permis de mettre au point une grille d'analyse des activités expérimentales (Millar et al., 1999) et a présenté de nombreuses études de cas sur des activités expérimentales (Psillos et Niedderer, sous presse) qui montrent le rôle déterminant pour l'activité de l'élève, de la formulation des questions posées et des aides apportées par le professeur (ou le tuteur). D'autres travaux contribuent à la clarification des formes (projet, investigation, illustration...) et des fonctions (familiarisation pratique, développement de compétences, référent pour la construction des concepts et des modèles, application...) des expériences pour l'enseignement scientifique (Coquidé, 2000). Plusieurs recherches sont aussi en relation avec le renouvellement des dispositifs d'enseignement et des activités expérimentales, en particulier par le recours à l'ordinateur (Bell et Linn, 2000 ; Davis et Linn, 2000 ; Lunetta, 1998 ; White, 1998 ; Séjourné, 2000 ; Vince, 2000).

Ordinateurs et TIC

Ces dix dernières années ont vu l'intégration croissante des nouvelles technologies dans l'enseignement. Il semble important de consacrer un paragraphe spécifique aux recherches qui se sont centrées sur les situations d'apprentissage organisées autour d'interactions entre apprenants et artefacts, alors que les nouvelles technologies ont pu susciter des réactions qui relèvent plus de l'opinion que d'une attitude scientifique. Les usages de l'ordinateur dans l'enseignement, que ce soit en situation scolaire ou pour l'enseignement à distance, représentent en effet un domaine de recherche en pleine expansion, dans des approches souvent pluridisciplinaires (par exemple certains aspects de sciences cognitives, d'ergonomie, de didactique et d'Intelligence artificielle). Ainsi, des recherches-développement pour la conception d'Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur articulent un questionnement relatif à la communication Homme/Machine à celui d'une ingénierie éducative.

Depuis une dizaine d'années, de nombreuses recherches se sont intéressées aux usages de l'ordinateur dans l'enseignement scientifique. La plupart se présentent plutôt comme des comptes-rendus d'innovation. Certaines construisent une problématique plus spécifique. Ainsi les interactions dans l'enseignement scientifique, entre activités pratiques (*wet laboratories*) et activités multimédias (*dry laboratories*) sont questionnées (par exemple, Kischner & Huisman, 1998), tandis que les nouveaux savoirs et savoir-faire sollicités par l'instrumentation sont analysés (Beaufils, Richoux, & Camguilhem, 1999).

TIC dans l'enseignement des mathématiques

Une étude d'un corpus large de publications internationales (662 publications de 1994 à 1999) sur l'usage des nouvelles technologies dans l'enseignement des mathématiques (Lagrange et al. 2001) a d'abord montré qu'un peu plus d'un tiers des publications relèvent de la recherche, les autres publications étant des présentations de produits, d'innovations ou de réflexion générale. Elle a ensuite montré que l'accent des recherches portait

essentiellement sur l'articulation savoir-apprenant, que ce soit dans des études hors classe ou dans des projets d'enseignement.

Ces travaux, même dans une approche méthodologique de validation externe (comparaison groupe témoin, groupes expérimentaux), apportent des résultats quant aux rapports des formés aux savoirs mathématiques. Il y a là un ensemble de données, certes assez hétéroclite tant du point de vue de l'outil utilisé que des conditions d'expérimentation et des validations utilisées pour les comparaisons (tests rapides ou problèmes ouverts) mais qui fournissent des données permettant de mettre à l'épreuve des développements ultérieurs d'approches théoriques.

Grâce à ces données, les articles peuvent apporter des résultats sur les modifications des rapports des formés aux mathématiques, quelquefois même contrairement à ce qu'ils attendaient a priori, comme Monaghan et al. (1994) qui identifient à l'issue de leurs recherches une nouvelle conception de la notion de limite (conception commande de logiciel), qui a été construite dans l'interaction avec un système de calcul formel (Computer Algebra System).

L'analyse statistique dans cette étude a aussi mis en évidence une séparation des travaux en deux classes :

- des travaux, où la validation est plutôt interne, dans lesquels l'incidence des TIC sur les apprentissages est questionnée
- des travaux, surtout anglo-saxons, qui postulent a priori que les TIC améliorent les performances et compétences des apprenants.

S'agit-il d'une différence idéologique ou culturelle ? L'idéologie dominante en France accorde peu de place aux outils dans l'activité mathématique, alors que le pragmatisme anglo-saxon considère comme un donné l'existence des TIC dans l'éducation et estiment donc qu'il vaut mieux repérer dans quelle mesure elles peuvent apporter des améliorations à l'enseignement. Au-delà de cette différence culturelle, l'analyse statistique montre que les deux classes se distinguent aussi par le domaine mathématique. La deuxième classe ne porte que sur l'apprentissage du calcul formel et de l'analyse, ce qui n'est pas le cas de la première classe. Cette incidence du domaine mathématique tiendrait peut-être au type d'outil correspondant : l'analyse et le calcul formel renvoient, dans la plupart des cas, aux calculatrices graphiques et aux calculatrices symboliques, alors que la géométrie, même si elle est aussi présente sur des calculatrices, renvoie essentiellement à des logiciels, cela d'autant plus que les environnements de preuve ou les tuteurs intelligents ont surtout été développés en géométrie. Les calculatrices, en particulier graphiques, sont incontournables, et possédées par les élèves. Les ordinateurs sont moins accessibles et le questionnement de leur usage découle plus facilement de ce moindre accès. Une deuxième explication tient à la nature même des environnements de géométrie, que l'on peut caractériser schématiquement par l'absence de réponse directe fournie à la question mathématique posée. Les élèves ont à construire la solution du problème dans l'environnement et engagent des connaissances dans cette construction. Les environnements graphiques ou de calcul formel fournissent une réponse directe à des interrogations et peuvent ainsi donner l'impression de potentialités mathématiques fortes, de suppression des aspects routiniers et calculatoires qui empêchaient jusqu'alors les élèves de se concentrer sur les aspects conceptuels. Des approches étrangères ont pu ainsi adopter d'emblée le paradigme procédural versus conceptuel sans postuler l'existence de liens entre ces deux dimensions de l'activité mathématique.

Une sensibilité croissante sur les problèmes d'instrumentation se fait justement jour dans les travaux, surtout en France. En effet, une hypothèse, non questionnée au départ, de l'usage des TIC avait pu consister à postuler que les TIC supprimeraient le travail procédural pris en charge par la machine et permettraient à l'élève de se concentrer sur les aspects conceptuels. Cette hypothèse s'avère fortement remise en question par les observations, qui montrent la nécessité pour les élèves de construire des pratiques instrumentées d'usage des TIC, ces pratiques n'étant pas indépendantes des savoirs en jeu. On retrouve ici l'approche instrumentale développée par la théorie de l'instrumentation (Vérillon & Rabardel, 1995 ; Rabardel, 1999 ; Vialle, 2001). Un des résultats des recherches est très certainement le rejet de l'opposition procédural/conceptuel, ce qui n'est pas sans retombées sur la construction de situations d'apprentissage. Ces dernières doivent chercher à construire des tâches qui permettent de développer en interaction des connaissances sur l'usage de l'artefact et des connaissances scientifiques (Guin & Trouche, 1999, Laborde 2001). Par ailleurs, des recherches principalement françaises portant sur l'usage des nouvelles technologies en mathématiques ont considéré l'environnement informatique comme constituant du milieu adidactique et ont cherché à travailler sur les nouvelles situations rendues possibles par le dispositif informatique susceptibles de modifier ainsi le fonctionnement des savoirs et par là les rapports des apprenants aux savoirs mathématiques. Les environnements informatiques permettent en effet de nouvelles actions impossibles en environnement papier crayon, ils offrent des rétroactions elles-mêmes aussi fondée sur des savoirs. (Jahn, 2000, Laborde *ibid.*).

Le cas particulier de la relation enseignant-apprenant médiée par des artefacts

Fondée sur l'hypothèse vygotkienne de médiation sémiotique, la construction de situations d'enseignement fait jouer un rôle central conjointement :

- à la médiation par des artefacts des savoirs dont l'acquisition est visée ;
- et à l'enseignant dans l'organisation de cette médiation, en particulier par ses interventions et les discussions collectives.

Cette approche est particulièrement développée en Italie, où les savoirs mathématiques sont médiés par des machines diverses ou des textes historiques donnés à l'étude des élèves. Les savoirs mathématiques sont progressivement construits comme permettant de modéliser le comportement de dispositifs matériels avec l'apport culturel supplémentaire, fourni par les solutions historiques. Deux études sont exemplaires de ce point de vue : sur l'apprentissage du dessin en perspective à l'aide d'un texte de Piero de La Francesca et sur la modélisation d'engrenages à l'aide d'un texte de Héron (Bartolini Bussi, 1996, 1999).

Mariotti (2000) a utilisé la possibilité qu'a l'enseignant de configurer à volonté un environnement informatique de géométrie dynamique, en l'occurrence Cabri-géomètre, pour faire introduire les définitions et théorèmes de géométrie euclidienne plane par les élèves eux-mêmes au fur et à mesure de leurs besoins. Les théorèmes et définitions étaient d'abord introduits comme des outils pour l'action avec le logiciel avant d'être intériorisés en relevant de la théorie.

Au delà des travaux pratiques et des TICE, les interactions entre les différents registres sémiotiques et les apprenants ont donné lieu à des recherches qui sont abordées au thème 3. Même si l'on peut noter une sensibilité croissante aux questions d'ordre sémiotique et notamment aux problèmes d'interaction entre représentations sémiotiques, l'analyse du fonctionnement de ces registres dans les manuels et l'enseignement de façon générale ainsi que la conception de situations de formation à ces systèmes de représentation est encore peu développée. Citons en mathématiques des travaux sur les figures en géométrie (Duval 1998, Laborde 2000), sur les représentations de fonction (Chauvat 1999, Falcade 2001).

3.2. Analyse de dispositifs ordinaires

Ce pôle regroupe les recherches qui ont pour objectif la connaissance des systèmes didactiques que constituent les divers dispositifs d'enseignement ou de formation dans des institutions diverses (enseignement scolaire, parascolaire, formation professionnelle...). L'objectif est de forger les outils pertinents d'analyse de ce système qui permettent de caractériser leur fonctionnement habituel du point de vue des contenus disciplinaires en jeu (mathématiques ou scientifiques). Il n'y a pas en arrière-plan de volonté de transformation des dispositifs même si les retombées des résultats des analyses peuvent contribuer à des changements.

3.2.1. L'articulation savoir – institution

L'existence des savoirs est, dans cette approche, considérée en fonction des institutions dans lesquelles ils vivent, se développent, vieillissent, voire s'éteignent. Il importe de présenter ici des recherches (initiées par Chevillard 1997, 1999) qui englobent un ensemble conséquent de travaux en didactique des mathématiques, se livrant à une analyse anthropologique et praxéologique des savoirs dans le système didactique se centrant sur l'articulation entre savoir et institution. Dans cette approche anthropologique des savoirs, l'institution est un objet primitif de nature sociéto-culturelle. Ce peut être aussi bien la classe d'un enseignant donné, que le niveau scolaire de Seconde en France, que l'enseignement des mathématiques, discipline de service en sciences économiques à l'université... Les savoirs y subissent des transformations (transpositions) dues aux contraintes de l'institution mais aussi des autres savoirs. Des phénomènes de contrat se font jour, dus aux règles implicites d'usage des savoirs qui se mettent en place entre les partenaires suivant leur position par rapport à l'institution. En particulier, se construit une mémoire de l'institution relativement à l'usage des savoirs (Brousseau & Centeno 1991).

Les recherches précédentes concernent l'enseignement des mathématiques. En ce qui concerne l'institution que constitue l'enseignement de la physique au lycée, Johsua (1989) a montré l'importance des "expériences prototypiques" ainsi que la "profonde didactisation" marquant le rapport à l'expérimental. Pour faciliter l'interprétation des phénomènes, les situations expérimentales proposées aux lycéens mettent en effet en scène :

- soit des objets techniques, qui "par leur finalisation même de leurs fonctions sont souvent producteurs ou patients de phénomènes relativement délimités" ;
- soit des situations artificielles, ne correspondant pas à une transposition-reconstruction de situations inspirées par des phénomènes naturels, l'histoire des sciences ou le fonctionnement d'objets techniques, mais

"des créations ex nihilo, et non redevables d'une quelconque transposition à partir d'un domaine non didactique".

Un cadre théorique général de type praxéologique est proposé par Chevallard pour décrire les organisations didactiques. Une organisation praxéologique au sein d'une institution est vue comme un ensemble de types de tâches pour lesquelles sont développées des techniques de résolution, un discours justifiant les techniques (appelé technologie) et à un niveau supérieur un discours justificateur et producteur de la technologie (appelé théorie). Ce cadre a été utilisé par différentes recherches pour décrire les organisations mathématiques mises en place à différents niveaux scolaires du curriculum ou les pratiques des enseignants dans des classes données sur un ensemble de notions en étroite relation : par exemple, la notion d'approximation en mathématiques au lycée (Birebent, 2001). Il permet en particulier de comparer des organisations de curriculum de pays différents (la notion de fonction en relation avec la notion d'équation au Vietnam et en France (Tien 2001), les relations d'incidence entre plan et droite en géométrie dans l'espace au Vietnam et en France (Hai, 2001).

Ce type de recherches sur les dispositifs didactiques ordinaires porte en général sur un plus long terme que celui consacré à la construction de dispositifs, toute période d'enseignement s'inscrivant dans une chronogenèse incluant "l'avant" et "l'après". Il va au-delà de la classe et peut prendre aussi pour objet d'étude des dispositifs didactiques comme l'évaluation, le travail à la maison (Chevallard 1999, p. 246) ou les séances de soutien (Leutenegger 2000). Cette dernière recherche analyse conjointement des séances de soutien à Genève et des séances de classe ordinaires dont proviennent les élèves en soutien, elle montre que finalement les élèves en difficulté ont à se soumettre à une double avancée du temps, une double chronogenèse et donc à deux contrats didactiques différents qui nécessitent une double adaptation de la part de l'élève. D'autres travaux de recherche en France ont adopté l'analyse praxéologique d'organisations didactiques en mathématiques pour rendre compte de leçons à partir de cahiers d'élèves, de compte rendus et d'observations de classes ordinaires (Jullien et Tonnelle, 1998 ; Artaud, 1998 ; Cirade et Matheron, 1998).

3.2.2 Les pratiques des enseignants

Avec l'analyse de situations ordinaires se développent conjointement des recherches sur les pratiques des enseignants, ou encore le travail de l'enseignant en classe. Si le courant de recherches centré sur la construction de dispositifs a pu mettre dans certains cas l'accent sur la construction de connaissances par les élèves dans des situations problématiques quasi-isolées de l'enseignant, celui sur l'analyse de dispositifs ordinaires dans un cadre praxéologique redonne sa place à l'enseignant :

"Au fantasme moderne de l'élève-héros triomphant sans coup férir de toute difficulté possible s'oppose ainsi la réalité indépassable de l'élève-artisan laborieux, qui avec ses condisciples, sous la conduite avisée du professeur, élabore patiemment ses techniques mathématiques. [...] Ainsi se noue une dialectique fondamentale : étudier des problèmes est un moyen permettant de créer et de mettre au point une technique relative aux problèmes de même type, technique qui, elle-même sera ensuite le moyen de résoudre de manière quasi-routinière des problèmes de ce type." (Chevallard, 1999, p.252)

Le cadre théorique praxéologique fournit donc un moyen d'étude des pratiques des enseignants, par les différents moments organisés par l'enseignant dans l'étude d'un ou d'objets de savoirs : moment de première rencontre avec ces objets, exploration d'un type de tâches et élaboration de techniques, constitution par l'enseignant d'un environnement technologique-théorique, travail de la technique et institutionnalisation (Chevallard, *ibid.*)

Les enseignants de mathématiques considérés en situation de travail

Simultanément, en résonance avec le point de vue praxéologique, se développe un ensemble de travaux sur les enseignants de mathématiques qui part de l'hypothèse que tous les résultats des recherches en didactique des vingt dernières années sur les apprentissages ne suffisent pas à modéliser les mises en œuvre en classe par les enseignants ; l'hypothèse d'une continuité entre les connaissances de l'enseignant, son projet, son action en classe et les activités mathématiques des élèves participe de l'illusion (Robert 2001). Les travaux relevant de ce point de vue ont cherché à restituer la complexité des pratiques des enseignants de mathématiques, en imbriquant deux approches :

- une approche de type didactique liée aux apprentissages mathématiques
- et une approche de type ergonomique dans laquelle l'enseignant est considéré en situation de travail.

Une partie du travail de l'enseignant consiste en effet à accomplir une difficile conversion entre objectifs généraux d'apprentissage et exigences du quotidien de la pratique (Robert *ibid.*, p.60). Il n'y a pas d'implication directe entre les deux mais en revanche une différence profonde de nature : d'un côté des choix globaux, de l'autre une multitude de choix parcellisés en situation en classe. Cette complexité est bien illustrée par les

résultats des recherches qui commencent à mettre en évidence à la fois les régularités entre pratiques d'enseignants et leur diversité. La tension entre élèves génériques pour qui sont définis les objectifs généraux d'apprentissage et élèves particuliers qui forment la réalité de la classe constitue une des difficultés du métier d'enseignant et explique probablement les diversités qui se font jour.

Les travaux menés autour de Robert (1999) et Rogalski (2000) font l'hypothèse de l'existence d'un système cohérent de pratiques ordinaires d'enseignement pour chaque enseignant avec ses contradictions donnant lieu à des compensations. Les travaux en cours cherchent à reconstruire ce système à partir de l'observation longue d'enseignants en situation d'enseignement ordinaire, en prenant en compte le processus entier d'enseignement, depuis l'élaboration du projet d'enseignement jusqu'à son animation en classe, y compris dans les improvisations en classe pour s'adapter aux élèves. Roditi (2001) met ainsi en évidence des convergences entre enseignants (observés dans l'enseignement des mêmes contenus) dans la délimitation du champ mathématique étudié ainsi que des points communs dans les stratégies projetées d'enseignement mais il pointe aussi l'existence d'une grande diversité dans les pratiques au niveau local. Ces convergences dans les choix relatifs aux contenus d'enseignement s'expliqueraient par des contraintes du système didactique comme les programmes ou la gestion du temps, qui aboutissent par exemple à ce que l'enseignant respecte les injonctions du programme, passe un temps d'étude raisonnable sur chaque sujet d'étude, introduise rapidement des savoir faire pour ne plus avoir à revenir sur les savoirs sous-jacents (on ne questionne pas ce que l'on sait faire). De même, des principes communs aux stratégies d'enseignement pourraient être dégagés, comme celui d'organiser des réussites des élèves, modestes certes, mais régulièrement disposées tout au long du chemin du savoir. Les phénomènes d'adaptation de l'enseignant aux réactions de la classe, aux " incidents " sont un terrain privilégié d'étude pour reconstruire le système cohérent de pratiques des enseignants.

Il se dégage des premières études réalisées que les enseignants expérimentés font preuve d'une grande cohérence entre le projet d'enseignement et sa réalisation en classe. *A contrario*, la formation des maîtres est aussi un objet d'étude, afin de repérer ses effets sur les pratiques en classe et les recherches déjà menées montrent de grandes variations dans les effets d'une même formation (Vergès 2001).

Les travaux pratiques dans les disciplines expérimentales

Les pratiques de TP, au cœur des disciplines expérimentales, ont été l'objet d'une recherche à grande échelle. Dans le cadre du projet Européen LES mentionné ci-dessus, une étude a été menée sur les feuilles de TP utilisées par les élèves de la fin du lycée et du début de l'université, dans six groupes de chercheurs, appartenant aux six pays européens partenaires du projet (Danemark, Angleterre, France, Allemagne, Grèce et Italie), ainsi que dans un groupe d'Espagne. Chaque groupe a sélectionné cinq feuilles de TP représentatives de la pratique habituelle de leur pays pour le lycée et le début de l'université pour chacune des disciplines : biologie, chimie et physique. Au total, 165 feuilles ont été recueillies : 75 au niveau du lycée, et 90 au niveau de l'université. A partir d'une grille d'analyse réalisée par Millar et al. (1999), il a été possible de dégager des résultats frappants : dans toutes les disciplines, il y a un "pattern" commun relatif à ce que l'on demande aux élèves de faire et ce que l'on ne leur demande pas (Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty, & Millar, 2001) . Les résultats sont similaires entre l'école secondaire et l'université, même si l'on demande plus souvent au lycée qu'au niveau de l'université de faire un compte rendu des observations. La comparaison entre disciplines montre que la physique est la plus caricaturale des trois disciplines, ainsi 90% des 55 feuilles de TP en physique demandent aux élèves d'établir des relations entre grandeurs physiques et moins de 10% de tester une prédiction ou de choisir entre plusieurs explications. Il semble que les TP habituels, quel que soit le pays européen où l'enquête a eu lieu, aident peu les élèves à établir des relations entre concepts, percepts et objets matériels.

Il faut également noter que les activités expérimentales sont étudiées dans la perspective de la cognition située (Roth, McRobbie, Lucas & Boutoné, 1997).

3.3. Validation des dispositifs didactiques construits

L'identification des apprentissages réalisés a connu un changement profond avec l'élaboration et l'explicitation de la méthode d'ingénierie didactique (Artigue, 1990). S'il s'agissait d'abord de repérer l'évolution des conceptions des élèves entre le début de la séquence et la fin grâce à des questionnaires ou des entretiens, ou de comparer les conceptions des élèves avec des classes témoin, l'ingénierie didactique a introduit une validation interne. Il s'agit d'envisager a priori un ensemble de scénarios possibles dépendant de variables globales ou locales. Les valeurs de ces variables sont fixées par le chercheur en fonction des effets attendus sur les conduites des élèves et la gestion de la classe. La conception de l'ingénierie est indissociable de son analyse a priori. Le ressort de la méthode tient à la confrontation entre l'analyse a priori et l'analyse a posteriori menée à partir des observations de la séquence d'enseignement réalisée. L'ingénierie didactique consiste à mettre à l'épreuve les liens que la théorie supposait entre enseignement et apprentissage par une *validation interne*. Il ne s'agit pas de

comparer les conduites des partenaires et les événements à ceux d'une classe témoin mais de comparer les deux modélisations différentes du même objet (la séquence) que sont l'analyse a priori et l'analyse a posteriori. Les résultats sont constitués par les relations entre les modifications des variables des problèmes et les conceptualisations que le chercheur infère à partir des productions et démarches des élèves.

Certes des validations de type externe peuvent être aussi utilisées, en sus de la validation interne. Elles résident le plus souvent dans la confrontation des élèves après l'enseignement à des tâches bien choisies en ce qu'elles sont critiques du point de vue des savoirs qu'elles mettent en jeu pour leur résolution. L'analyse des stratégies de solution et des réponses des élèves permet alors de repérer les apprentissages réalisés.

4. MISE EN PERSPECTIVE

4.1. Multiplicité des références dans la construction de dispositifs

La construction de dispositifs a pu se faire en référence à une ou plusieurs des théorisations mentionnées. Ainsi, une double référence classique est celle qui renvoie à la fois à l'articulation savoir-situation et à celle savoir-apprenant qui ne sont pas exclusives l'une de l'autre.

Que ce soit dans la méthode d'ingénierie didactique, particulièrement en cours en didactique des mathématiques ou dans la construction de dispositifs en sciences expérimentales, une triple référence est en général privilégiée : une référence épistémologique pour les savoirs dont l'apprentissage est visé, une référence au sujet apprenant, ou plutôt à ses conceptions et aux modes d'évolution de ses conceptions (relations savoir-apprenant), une référence à l'articulation savoir situations pour la mise en place d'activités données aux élèves.

Dans certains cas, s'ajoute la référence à la médiation organisée autour d'un artefact, comme dans les projets longs d'enseignement mathématique italiens. Ces derniers en effet s'appuyant sur une analyse épistémologique des savoirs, enjeux d'enseignement, organisent une médiation des savoirs par des artefacts de plusieurs types (textes historiques, ou machines et dispositifs divers) et donnent un rôle central à la discussion entre élèves, gérée par l'enseignant (Arzarello & Bartolini Busi 1998).

4.2. Les résultats

Les travaux sur la construction de dispositifs réalisés sur les vingt dernières années ont non seulement fourni, grâce aux analyses fines des savoirs à enseigner, de nombreux exemples de dispositifs d'enseignement de savoirs particuliers qui peuvent servir de dispositifs de référence mais ils ont surtout dégagé des caractéristiques critiques de ces dispositifs à faire varier selon les savoirs dont l'acquisition est visée.

En didactique des mathématiques, c'est la notion de variable didactique qui rend compte de cette variation des situations en fonction des savoirs. Dans des champs conceptuel divers de la numération, l'arithmétique, l'algèbre, l'analyse ou la géométrie, des variables didactiques ont ainsi été dégagées. Par exemple, la taille de l'espace (micro-espace, méso-espace, macro-espace) s'avère être une variable des situations d'enseignement en géométrie (Berthelot & Salin 1998). En didactique des sciences physiques, il apparaît qu'il faut faire varier les situations suivant que l'on cherche à faire apprendre à percevoir et décrire les éléments essentiels de phénomènes ou que l'on vise à ce que les formés construisent des relations entre grandeurs physiques à partir de la réalisation d'un dispositif expérimental et de la prise de mesures.

Un autre type de résultats est relatif à la mise en évidence et à l'utilisation de la dimension sociale des dispositifs d'enseignement et de formation. Les conduites des acteurs (enseignant et élèves) dans la relation didactique sont gérées par un système d'attentes et d'obligations réciproques sur l'usage des savoirs qui diffèrent selon les savoirs en jeu. Les situations d'enseignement construites peuvent donc soit chercher à s'appuyer sur ces règles implicites ou au contraire chercher à être en rupture comme dans les situations adidactiques. Il est intéressant que cette prise en compte de la dimension sociale s'est faite sur le plan international même si elle est menée en des termes parfois différents : contrat didactique en France, normes socio-mathématiques aux USA. La dimension sociale des significations construites par les élèves dans ces dispositifs et la co-construction des savoirs avec les pairs et/ou l'enseignant est un autre résultat des travaux, plus développé à l'étranger qu'en France : en Italie avec les discussions collectives, aux USA...

Tous les travaux soulignent la complexité des dispositifs d'enseignement et progressivement se mettent en place des recherches sur la gestion quotidienne de ces dispositifs complexes par l'enseignant. Ce point est développé dans le paragraphe suivant

4.3. Le déplacement des questions de recherche

Si le courant de recherche construction de dispositifs didactiques a été le premier dans le temps à voir jour, il s'est produit un déplacement des travaux vers le second courant qui étudie l'enseignement ordinaire, avec comme corollaire un développement des recherches sur les pratiques des enseignants. Il faut aussi signaler que certains travaux ont su jouer de la complémentarité des deux courants de recherche, comme le projet sur l'enseignement des limites au secondaire qui articule théorie des situations et organisation praxéologique (Schneider 2001). L'étude de biographies didactiques faite par Mercier (1998) montre comment l'adidactique peut émerger d'épisodes créés par l'institution et non voulus comme tels par cette dernière. Dans les travaux sur l'enseignement ordinaire, s'est développée ces dix dernières années l'approche écologique qui cherche à analyser les conditions de vie des savoirs enseignés au sein d'un curriculum : comment certains savoirs enseignés permettent d'outiller des savoirs à introduire et réciproquement comment certains savoirs sont-ils outillés par de savoirs déjà enseignés ? Une telle approche permet d'expliquer la disparition de certaines techniques, de certains types de tâches de l'enseignement et les difficultés d'apprentissage et d'enseignement subséquentes.

Les recherches actuelles sur les enseignants dépassent les études de "beliefs" (croyances) ou des représentations des enseignants qui ont pu avoir cours il y a une dizaine d'années. Déjà l'approche anthropologique de la notion de rapport au savoir (Chevallard, 1992) qui envisageait la multiplicité des rapports aux savoirs d'un individu suivant l'institution dans lesquelles il se place, était un début de théorisation non centré sur l'enseignant mais qui laissait la place aux rapports multiples des enseignants aux savoirs, rapports officiels ou rapports personnels. Avec l'analyse praxéologique, et le croisement des analyses didactique et ergonomique, c'est le travail de l'enseignant dans toute sa complexité qui est désormais objet d'étude avec des retombées certaines sur la formation professionnelle des enseignants.

4.4. Interrelations entre les théories de l'apprentissage et les théories de l'enseignement.

Les relations entre théories d'apprentissage et théories d'enseignement ne sont pas toujours complètement explicitées. Pourtant, selon que le cadre théorique est constructiviste ou développemental, les situations d'enseignement étudiées en recherche diffèrent.

Ainsi, les "changements conceptuels" des élèves peuvent-ils être considérés de différentes façons, selon les théories, et de façon plus ou moins exclusive. Certaines théories envisagent une "élimination" des savoirs initiaux, d'autres un "échange" au profit de nouveaux savoirs, d'autres enfin un "élargissement" (Hewson & Hennessey, 1991). Les dispositifs didactiques envisagés dans l'enseignement pour favoriser les apprentissages des élèves dépendent de ces différents cadres théoriques. Les recherches sur les situations de formation peuvent être structurées selon deux paradigmes épistémopsychologiques : rupture ou continuité dans l'apprentissage.

La remise en cause par l'élève lui-même de ses connaissances naïves apparaît dans certaines recherches comme une condition importante de changements conceptuels et d'un apprentissage scientifique (Giordan & De Vecchi, 1987), tandis que d'autres recherches essaient plutôt de permettre la construction de connaissances à partir de connaissances déjà disponibles. En mathématiques, les connaissances naïves ne préexistent pas nécessairement et le problème essentiel auquel sont confrontés les concepteurs de situations de formation est celui de la construction de connaissances de base sur lesquelles s'appuyer pour en développer de nouvelles. Même si en sciences physiques les connaissances naïves préexistent souvent, pour un certain nombre de recherches, le problème essentiel est le même (Lijnse 2000).

Le point de vue sur les discontinuités dans les apprentissages s'est aussi affiné avec le temps. Comme le souligne Artigue (1998, p. 238) dans le cas de l'enseignement de l'analyse en mathématiques au lycée et à l'université, l'existence de discontinuités en analyse est évidente mais elles sont de nature très diverse et il semble plus productif aujourd'hui de les penser en termes de reconstruction et d'évolution de rapports à des objets.

Est-ce que toutes les formes de "changements conceptuels" sont de même nature ou de même difficulté ? Par exemple, Southerland et ses collaborateurs (2001) analysent si les explications naïves des élèves sur les phénomènes biologiques apparaissent structurées ou non, et argumentent que des conséquences sur les dispositifs didactiques sont à mettre en place.

Dans certaines recherches sur les dispositifs de formation, les théories d'enseignement semblent ne pas distinguer réellement "enseignement" et "apprentissage" et les termes apparaissent parfois comme interchangeable comme dans celui de dispositif "d'enseignement-apprentissage", alors que dans d'autres recherches, l'enseignement n'est pas considéré comme la "cause" d'un apprentissage mais comme simple "facilitateur".

L'organisation de milieux au sens de la théorie des situations didactiques, l'analyse des apprentissages organisés avec un environnement informatique ou tout artefact, posent aussi la questions des *affordances* rendues possibles par ces environnements chez les apprenants (Gibson 1979). En effet, toute action d'un individu doit "négocier" les propriétés de l'environnement. Cette capacité de percevoir et d'envisager l'environnement comme une réalité "agie" s'appuie sur la construction, au cours de l'apprentissage, d'affordances, c'est-à-dire de la connaissance de ce que le contexte offre comme possibilités d'action. Les affordances seraient construites sur les invariants relationnels entre la personne et les éléments de l'environnement, que ces éléments soient naturels ou relèvent de constructions culturelles. L'intérêt du concept d'affordance consiste à prendre en compte tout à la fois la personne et l'environnement, et à s'attacher aux processus d'ajustement de l'un à l'autre dans l'action (Bril 1995). Dans les processus d'ajustement aux artefacts, les recherches sur le rôle de l'instrumentation sur la conceptualisation nous paraissent n'en être qu'à leurs débuts et devraient connaître un développement plus important, en particulier dans le contexte de l'intégration des nouvelles technologies dans l'enseignement scientifique.

4.5. Les questions vives qui nous semblent émerger.

En plus du questionnement sur les liens entre théories de l'apprentissage et celles de l'enseignement, quelques autres questions vives nous semblent émerger.

Une question fondamentale que nous n'avons pas abordée directement dans les paragraphes précédents est celle du temps. Depuis longtemps, la différence entre temps d'apprentissage et temps didactique a été pointée par Chevallard et Mercier (1987). Le temps avance dans un dispositif d'enseignement pour des raisons de contraintes du système didactique à une allure différente de celle du temps d'apprentissage. Il peut se produire un décalage de plusieurs mois, voire plusieurs années, entre l'enseignement de savoirs et leur acquisition par les apprenants. L'enseignement joue sur une dialectique de l'ancien et du nouveau pour négocier l'entrée de nouveaux savoirs. La question de l'étendue dans la durée du dispositif didactique peut donc être un objet de recherche en soi. Plusieurs questions connexes se posent alors.

Il est utile de signaler des différences dans la taille des objets de recherche, pouvant aller d'une situation de formation d'une heure sur une notion précise à une séquence d'enseignement qui s'étale sur plusieurs mois. L'échelle de temps retenue pour les études déjà réalisées est le plus souvent courte ou moyenne, surtout pour la construction de dispositifs didactiques. Quels outils et méthodologies développer pour des recherches sur le long terme, pour comprendre l'articulation complexe de situations de formation (entre domaines disciplinaires par exemple), les questions de progressivité des apprentissages ou pour aider à la construction et au développement de curricula ? Robert (1992) signale ainsi les difficultés que rencontrent de façon plus aiguë les projets longs d'enseignement. Comment dans de tels projets, décider des moments adéquats d'évaluation de telle ou telle acquisition ? Quels témoins relever, à quel moment, à quelle échelle, pour vérifier que c'est bien l'expérience d'enseignement visée qui a eu lieu ? Comment traiter une telle masse de données ? Et question cruciale qui ne se pose pas pour les enseignements courts : comment s'intègre le dispositif long d'enseignement dans le système éducatif, dans l'institution ?

De la même façon, il est important de souligner des différences importantes relatives à l'échelle ou au " grain d'analyse " entre recherches. Les dispositifs sur une durée courte donnent souvent lieu à un grain d'analyse plus fin mais les questions qui se posent peuvent aussi être différentes. S'intéresse-t-on à l'effet de l'enseignement sur les élèves ou sur la classe globalement ? Analyse-t-on des processus fins observés sur quelques individus ou cherche-t-on à caractériser des phénomènes relatifs globalement à la classe ? Les résultats des recherches et leur utilisation possible diffèrent grandement suivant les cas. Ces différences peuvent susciter des difficultés à la communication, la confrontation et à l'exploitation des recherches.

Les recherches sur la construction de dispositifs ont pu montrer que les connaissances dont l'acquisition était visée nécessitent d'autres connaissances non enseignées et le plus souvent implicites. L'enseignement du début de la géométrie doit ainsi s'appuyer sur des connaissances spatiales, souvent non disponibles chez les élèves. La relation entre connaissances implicites et explicites dans un enseignement est probablement un thème de recherche à développer.

Signalons à ce propos que ce chapitre n'a pas abordé les aspects affectifs et les métaconnaissances. Des travaux ont montré l'effet de l'affectivité (Thompson & Mintzes, à paraître) sur l'apprentissage ou bien encore de la représentation que se fait l'élève de l'école ou des apprentissages. Des études psychologiques et éthologiques étudient l'importance de l'affectivité dans les capacités d'apprentissage et de mémorisation : la " motivation "

(Hewson, Beeth, Thorley, 1998), tandis que des études micro-sociologiques analysent le sens de l'expérience scolaire (Rochex, 1995), le rapport à l'apprendre et le rapport au savoir (Charlot, 1997). Ces dernières années, la notion de rapport au savoir a connu un vif succès dans les travaux de recherche en sciences de l'éducation. Il s'est enrichi et modifié, et ses concepteurs ont ressenti la nécessité de faire une nouvelle mise au point pour apporter des précisions, indiquer son évolution et pour confronter les différentes approches (Bautier & Rochex, 1998 ; Charlot, 2001 ; Mosconi, Beillerot & Blanchard-Laville, 2000). Ces approches ont pour objectif de rendre compte des différents comportements des apprenants face au(x) savoir(s) ou face à des objets de savoirs disciplinaires (Caillot, 1999). C'est la singularité du sujet et la dynamique de son désir d'apprendre ou de savoir qui constituent les principaux axes de la recherche.

Les métaconnaissances peuvent aussi servir de référence principale à la construction de situations (voir thème 3). De nombreux auteurs argumentent de la nécessité d'une métacognition pour les changements conceptuels (Larochelle & Desautels, 1992, White et Gunstone, 1989). Malheureusement jusqu'à ce jour, l'enseignement direct de métaconnaissances semble être en échec, en revanche, de nombreux auteurs visent à introduire un aspect métacognitif, dans l'enseignement d'un contenu effectif (Hewson, Beeth, Thorley, 1998).

5. CONCLUSIONS

Tout d'abord, on peut remarquer que la structure construite pour ce thème fait apparaître que la majorité des recherches, pour analyser ou présenter les savoirs, s'appuient sur principalement deux aspects qui ne sont pas nécessairement exclusifs, les problèmes ou la modélisation. Il est bien sûr nécessaire de nuancer ce propos. Le problème, en particulier, recouvre des significations bien différentes pouvant aller d'une situation problématique pour l'individu à la classe de problèmes à l'origine d'un savoir dans le cas des mathématiques.

Historiquement les recherches sur les dispositifs d'enseignement ont centré leur attention sur les relations entre savoir et apprenant. La synthèse fait apparaître un déséquilibre entre le grand nombre de travaux mettant l'accent sur les relations entre apprenant et savoir, alors que les recherches se centrant plus sur l'articulation entre apprenant et artefact, et de façon générale sur la conception de dispositifs didactiques incluant des artefacts, sont encore peu nombreuses, même s'il y a de nombreuses innovations. Et pourtant on connaît encore peu sur le rôle de l'instrumentation dans la conceptualisation en situation d'enseignement et hors classe. Il nous semble essentiel de développer des recherches sur ce domaine. Ces recherches gagneraient à tenir compte des travaux antérieurs sur les dispositifs comme le montre cette présentation. C'est un signe de maturité de la recherche que de ne pas "partir de zéro".

Ce développement est d'autant plus important que le rôle des technologies de l'information et de la communication ne cesse de grandir dans l'enseignement et la formation. Dans le cas des TICE, les possibilités de transformer le savoir à enseigner, en particulier par la variété des représentations sémiotiques, offre également un champ de recherche encore peu exploré.

En ce qui concerne les travaux sur les situations ordinaires, il apparaît que les recherches récentes sur les enseignants apportent des résultats très intéressants, d'une part quant aux contraintes qui conduisent à des convergences entre enseignants d'une même discipline et d'un même niveau, et d'autre part sur la marge de manœuvre de chaque enseignant. Ces résultats prometteurs nécessitent de poursuivre les recherches car leurs conséquences sont grandes aussi bien dans la conception des instructions officielles et que dans la formation des maîtres.

Cette synthèse a cherché à rendre compte de travaux sur le plan international. Nul doute qu'elle n'a pas rendu justice à des travaux étrangers qui n'ont pas donné lieu à publication dans les revues les plus connues. A l'issue de ce travail de recension, il est intéressant de noter l'existence de deux tendances dans les travaux de recherche francophones : une tendance cherchant à développer des travaux en intégrant ce qui se fait sur le plan international et une tendance aussi bien en mathématiques qu'en sciences expérimentales cherchant à développer des approches et des méthodologies spécifiquement françaises.

Bibliographie

- Artaud, M. (1998) Les nombres relatifs : étude d'un compte rendu d'observation d'une classe de cinquième. In *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques* Noirfalise R.(ed) (pp.183-198) Clermont-Ferrand : IREM
- Artigue, M. (1990) Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9.3, 281-307
- Artigue, M. (1998) L'évolution des problématiques en didactique de l'analyse. *Recherches en didactique des mathématiques*, 18.2, 231-261
- Artigue, M & Robinet, J. (1982) Conceptions du cercle chez des enfants de l'école élémentaire. *Recherches en didactique des mathématiques*, 3.1, pp. 5-64
- Arzarello, F. & Bartolini Bussi, M. (1998) Italian Trends in Mathematical Education : A national case study from an international perspective, In : *Mathematics Education as a Research Domain : A search for identity*, ICMI study, A. Sierpiska & J. Kilpatrick (eds.) (Book2, pp. 243-262) Dordrecht : Kluwer Academic Publishers
- Astolfi, J.P. & Perterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster* 16,103-142
- Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster* 25, 193-216.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Bartolini Bussi, M.G. (1996) Mathematical Discussion and Perspective Drawing in Primary School, *Educational Studies in Mathematics*, 31.1-2, 11-41
- Bartolini Bussi, M. & Boero, P. (1998) Teaching and learning geometry in contexts In : *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st century*, C. Mammana & V. Villani (eds) (ch.2, section III, pp.52-61) Dordrecht : Kluwer Academic Publisher
- Bartolini Bussi, M & Mariotti, M. (1999) " Semiotic Mediation : from history to mathematics classroom " *For the Learning of Mathematics*, 19.2, 27-35
- Bartolini Bussi, M. G., Boni M., Ferri, F. & Garuti, R. (1999) Early Approach to Theoretical Thinking : Gears in primary school, *Educational Studies in Mathematics*, 39.1-3, 67-87
- Bautier E., Rochex, J.-Y. (1998). *L'expérience scolaire des nouveaux lycéens*. Paris : Armand Colin.
- Beaufils, D., Richoux, H., Camguilhem, C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster* 28,131-148.
- Bell, P. & Linn, M.C. (2000) Scientific arguments as learning artefacts : designing for learning on the web ? *International Journal of Science Education*, 22.8 : 797-817.
- Berthelot, R., Salin, M.-H. (1998) The role of pupils' spatial knowledge in the elementary teaching of geometry In : *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st century*, C. Mammana & V. Villani (eds) (ch.2, sectionV, pp.71-78) Dordrecht : Kluwer Academic Publisher
- Birebent, A. (2001). *Articulation entre la calculatrice et l'approximation décimale dans les calculs numériques de l'enseignement secondaire français*. Unpublished Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Blumer, H. (1969) *Symbolic Interactionism*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall
- Boero, P., Garuti, R., Lemut, E., Gazzolo, T., Llado, C. (1995) Some aspects of the construction of geometrical conception of the phenomenon of the sun's shadow *Proceedings of PME XIX*, Recife, Vol.3, 11-18
- Bril, B. (2002). L'apprentissage de gestes techniques: ordre de contraintes et variations culturelles. In B. Bril et V. Rroux (eds.) *Le geste technique. Réflexions méthodologiques et anthropologiques*. Ramonville Saint-Agne :Editions Erès (Revue d'Anthropologie des connaissance, Technologies/Idéologies / Pratiques) (in press).
- Brousseau, G. & Centeno, J.: 1991, Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. *Recherches en didactique des mathématiques* , 11.2-3, 167-210.
- Brousseau, G. (1983) Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4.2, 165-198
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques*, 7.2, 33-115.
- Brousseau, G.: 1998, *Theory of Didactical Situations in Mathematics, Didactique des Mathématiques 1970-1990*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bruner, J. (1983) Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire. Paris : PUF.
- Buty, C. (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse, Université Lumière Lyon 2.
- Caillot, M. (1999). Rapport(s) au(x) savoir(s) et didactique des sciences. In S. Laurin et P. Jonnaert (dir.), *Milieux de pratique et intégration des savoirs didactiques*. Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Caillot, M., & Dumas-Carré, A. (1987). *PROPHY : un enseignement d'une méthode de résolution de problèmes en physique* (Collection des rapports de recherche INRP n° 12): INRP.

- Charlot, B. (1997). *Du Rapport au Savoir. Eléments pour une théorie*. Paris : Anthropos. 112 p.
- Charlot, B. (2001). *Les jeunes et le savoir. Perspectives internationales*. Paris : Anthropos.
- Chauvat, G. (1999) Courbes et fonctions au collège, *Petit x* 51, 23-44
- Chevallard, Y. (1991) *Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage, 2^{ème} édition
- Chevallard, Y. (1992) Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12.1, 73-112
- Chevallard, Y. (1997) Familière et problématique, la figure du professeur. *Recherches en didactique des mathématiques*, 17.3, 17-54
- Chevallard, Y. (1999) L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19.2, 221-266
- Chevallard, Y. & Mercier, A. (1987) *Sur la formation historique du temps didactique*. Marseille : IREM d'Aix-Marseille
- Cirade, G. & Matheron, Y. (1998) Equation du premier degré et modélisation algébrique In : *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques* Noirfalise R.(ed) (pp.199-250) Clermont-Ferrand : IREM
- Cobb, P. & Yackel, E. (1996) Constructivist, emergent and socio-cultural perspectives in the context of developmental research, *Educational Psychologist*, 31, 175-190
- Cobb, P., Wood, T., Yackel, E. & Mc Neal, B. (1992) Characteristics of classroom mathematics traditions : An interactional analysis. *American Educational Research Journal*. 29, 573-604
- Cole, M., & Engeström, Y. (1993). A cultural-historical approach to distributed cognition. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognition. Psychological and educational considerations* (pp. 1-46). Cambridge: Cambridge University Press.
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. HDR Université Paris-Sud Orsay.
- Davis, E. & Linn, M. C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration through prompts for reflection. *International Journal of Science Education*, 22 (8) : 819-847.
- Didaskalia* 7 (1995) : “ Enseignement des sciences et des techniques à l'école élémentaire ”
- Douady, R. (1984) *Jeux de cadre et dialectique outil objet*, Thèse d'état, Université Paris 7.
- Douady, R. (1986) Jeux de cadres et dialectique outil/objet, *Recherches en didactique des mathématiques*, 7.2, 5-32
- Douek, N. (1999) Argumentation and conceptualization in context : a case study on sun shadows in primary school, *Educational Studies in Mathematics*, 39.1-3, 89-110
- Duit, R. & Treagust, F. (1998). Learning in Science. From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In : B. J. Fraser & K. G. Tobin (eds), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25) Dordrecht : Kluwer Academic Publisher.
- Dumas-Carré, A., & Gomas, L. (2001). Mise au point d'un instrument d'analyse de l'évolution des représentations du problème pendant la résolution de problèmes de mécanique en groupes. *Didaskalia*, 18, 11-40.
- Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (dir.) (1998). *Tutelle et médiation dans l'enseignement scientifique*. Paris/Berne : Peter Lang ;
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne : Peter Lang.
- Duval R. (1998). Geometry from a cognitive point of view, In : *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century*, C. Mammana and V. Villani (eds.) (chap. II, pp.37-52), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dykstra, D. I. (1992). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R. Duit & F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 40-58). Kiel: Institut für Die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Education Permanente* (1992) *Approches didactiques en formation d'adultes* (dir : G. Vergnaud), n°111
- Education Permanente* (1995) *Le développement des compétences : analyse du travail et didactique professionnelle* (dir : Bouthier, P. Pastré, R. Samurçay), n°123
- Falcade, R. (2002) L'environnement Cabri-géomètre outil de médiation sémiotique pour la notion de graphe d'une fonction, *Petit x*, 58, 47-81
- Fleer, M. (1995). The importance of conceptually focused teacher-child interaction in early childhood science learning. *International Journal of Science Education* 17, 3, 352-342.
- Gibson, J.J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate (édition, 1986).
- Gil, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18(8), 889-901.
- Gil, D., & Carrascosa, J. (1985). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *European Journal of Science Education*, 7.3, 231-236.

- Gilbert, J. K., & Boulter, C., J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 3-26). Dordrecht: Kluwer academic publishers.
- Gil Perez, D. (1993). 'Contribución de la Historia y la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza / aprendizaje como investigación'. *Enseñanza de las Ciencias* 11, 197-212.
- Giordan, A. & De Vecchi, D. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel/Paris : Delachaux et Niestlé. 214 p.
- Gravemeijer, K. (1998) Developmental research as a research method In : A. Sierpiska & J. Kilpatrick (eds.) *Mathematics Education as a Research Domain : A search for identity* (Book 2, pp.277-295) Dordrecht : Kluwer Academic Publishers
- Guillaud, J.C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Thèse de l'Université Joseph Fourier Grenoble 1, Grenoble
- Guin, D. & Trouche, L. (1999) The complex process of converting tools into mathematical instruments: the case of calculators *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 3.3, 195-227
- Halloun, I., A. (2001). *Apprentissage par modélisation. la physique intelligible*. Beyrouth: Librairie du Liban Publishers.
- Hestenes, D. (1987). Towards a modeling theory of physics instruction. *American journal of physics*, 55.5, 440-454.
- Hewson, P. W. , Beeth, M. E, Thorley, R. N. (1998). Teaching for conceptual change. In B.J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic, 199-218.
- Hewson, P. W. & Hennessey, M.G. (1991). Making status explicit : A case study of conceptual change. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds), *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 176-187). Kiel, Germany : IPN.
- Hiebert, J. (1998) Aiming Research toward understanding : lessons we can learn from children In : *Mathematics Education as a Research Domain : A search for identity*, ICMI study, A. Sierpiska & J. Kilpatrick (Eds.) (Book 1, pp. 141-152) Dordrecht : Kluwer Academic Publishers
- Jahn, A.P. (2000) New tools, new attitudes to knowledge: the case of geometric loci and transformations in Dynamic Geometry Environment, *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, T. Nakahara, M. Koyama (eds.) (Vol.1, pp. 91-102) Hiroshima University.
- Johsua, S. (1989) Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8 : 29-54.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- Johsua, S. & Dupin, J.J. (1993) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF. 422 p.
- Jullien, M. & Tonnelle, J. (1998) Ecritures fractionnaires : étude de traces écrites et l'activité d'une classe de cinquième In : R. Noirfalise (ed) *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques* (pp.121-182) Clermont-Ferrand : IREM
- Kirschner, P. & Huisman, W. (1998). " Dry laboratories " in science education ; computer-based practical work. *International Journal of Science Education* 20 .6, 665-682.
- Kuhn, T. S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Laborde, C. (1991) Deux usages complémentaires de la dimension sociale dans les situations d'apprentissage en mathématiques In : Garnier C., Bednarz N. & Ulanovskaya I (Eds.) *Après Vygotski et Piaget - Perspectives sociale et constructiviste. Ecoles russe et occidentale* (pp. 29-49) Bruxelles : De Boeck Wesmael.
- Laborde, C. (2000)) Dessin et texte dans l'enseignement de la géométrie : leurs interrelations en évolution de l'école élémentaire au début de l'enseignement secondaire, In: B. d'Amore & G. Bagni (eds.) *Didattica della Matematica nel III Millenio*, (pp.73-92), Bologna, Italie: Pitagora Editrice
- Laborde, C. (2001). Integration of technology in the design of geometry tasks with Cabri-geometry, *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 6, 283-317.
- Lagrange, J.-B., Artigue, M., Laborde, C., & Trouche, L. (2001). Meta study on IC technologies in education. Towards multidimensional framework to tackle their intergration into the teaching of mathematics. In : M. v. d. Heuvel-Panhuizen (Ed.), *Proceedings of the 25th conference of international group for psychology of mathematics education*. Utrecht, Pays Bas: Freudenthal Institute, Utrecht University.
- Larcher, C. (1994). Étude comparative de démarches de modélisation. Quelles sont les caractéristiques des démarches de modélisation? In J.-L. Martinand et al., *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* INRP, 9-24.
- Larochelle, M. & Désautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science, itinéraires cognitifs des étudiants*. Bruxelles : De Boeck.
- Lave, J. (1988) *Cognition in Practice : Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life*. Cambridge : Cambridge University Press

- Lazarowitz, R., Tamir, P. (1994). Research on using Laboratory instruction in Science. *Handbook of research on science teaching and learning*. New York : Mac Millan Publishing Company. 94-128.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1992) L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. In Martinand et al. *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris INRP : 171-232.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette education. 222 p.
- Lesh, R. (1985). Conceptual analyses of mathematical ideas and problem solving processes. In L. Streefland (Ed.), *Proceedings of the ninth international conference for the psychology of mathematics education* (pp. 73-96). Utrecht : Pays bas: University of Utrecht.
- Leutenegger, F. (2000) Construction d'une clinique pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement *Recherches en didactique des mathématiques* 20.2, 209-250
- Lijnse, P. (2000). Didactics of science: the forgotten dimension in science education research? In R. Millar R, J. Leach & J. Osborne (Eds.) *Improving science education*. Buckingham: Open University Press: 308-326.
- Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory : Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (eds), *International Handbook of Science Education* : 249-262.
- Mariotti, M.A. (2000) Introduction to proof : the mediation of a dynamic software environment, *Educational Studies in Mathematics*, 44.1-3, 25-53.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Martinand, J.-L., Astolfi, J.-P., Chomat, A., Drouin, A.-M., Genzling, J.-C., Larcher, C., Lemeignan, G., Meheut, M., Rumelhard, G., & Weil-Barais, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: Institut National de Recherche Pédagogique (INRP).
- Martinand, J.-L., Genzling, J.-C., Pierrard, M.-A., Larcher, C., Orange, C., Rumelhard, G., Weil-Barais, A., & Lemeignan, G. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: Institut National de Recherche Pédagogique (INRP).
- Méheut, M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases : The parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, 19, 647-660.
- Méheut, M. (1998). *Construire et valider des séquences d'enseignement*. Unpublished Habilitation à diriger des recherches en didactique des sciences physiques, Université Paris 7, Paris.
- Mercier, A. (1998) La participation des élèves à l'enseignement, *Recherches en didactique des mathématiques*, 18.3, 279-310
- Millar, R.H. , Le Maréchal, J-F., Tiberghien, A.(1999). "Mapping" the domain – varieties of practical work. In J. Leach & A.C. Paulsen (Eds). *Practical Work in Science Education*. p.33-59.
- Monaghan, J., Sun, S., Tall, D. (1994) Construction of the limit concept with a CAS, *Actes de PME XVIII*, (Vol.3, pp.279-286) Université de Lisbonne Portugal
- Mosconi, N., Beillerot J., Blanchard-Laville, C. (2000). *Formes et formation du rapport au savoir*. Paris : L'Harmattan.
- NCTM Research Advisory Committee (1988) NCTM Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics : Responses from the Research Community, *Journal for Research in Mathematics Education*, 19, 338-344
- Noss, R. & Hoyles, C. (1996) *Windows on mathematical meanings : Learning Cultures and Computers* Dordrecht: Cluwer
- Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11.5, 530-540.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF. 241 p.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons. Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre*. HDR Université de Nantes.
- Peterfalvi, B. (2001). *Obstacles Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Unpublished thèse de sciences de l'éducation, Université de Rouen, Rouen.
- Psillos, D. & Niedderer, H. (sous presse). *Teaching and Learning in the Science Laboratory*. Dordrecht: Kluwer academic press.
- Rabardel, P. (1999) Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. In : M. Bailleul (Ed.)(*Actes de la Xème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*, 203-213) Caen: Académie de Caen Rectorat
- Reif, F & Allen, S. (1992). Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration. *Cognition and Instruction*, 9, 1-44.
- Resnick, L. (1991) Shared Cognition: Thinking as a Social Practice. In L. Resnick, J. Levine & S. Teasley (Eds.), *Perspectives on Socially Shared Cognition* (pp.1-20) American Psychological Association.

- Robert, A. (1992) Projets longs et ingénieries pour l'enseignement universitaire : questions de problématique et de méthodologie. Un exemple : un enseignement annuel de licence en formation continue *Recherches en didactique des mathématiques*, 12.2.3, 181-220
- Robert, A. (1999) Pratique des enseignants de mathématiques, *Didaskalia*, 15, 123-157
- Robert, A. (2001) Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant *Recherches en didactique des mathématiques*, 21/1.2., 57-79.
- Robert, A. & Tenaud, I. (1989) Une expérience d'enseignement de la géométrie en Terminale C. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9.1, pp. 31-70.
- Rochex, J.-Y. (1995). *Le sens de l'expérience scolaire*. Paris : PUF
- Roditi, E. (2001) *L'enseignement de la multiplication des décimaux en sixième, étude de pratiques ordinaires*. Unpublished Thèse de l'université de Paris 7
- Rogalski, J. (2000) Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant. In : *Actes du XXVIème colloque COPIRELEM* (pp. 45-66) Limoges : IREM, Université de Limoges
- Roth, W-F., McRobbie, C., Lucas, K.B., Boutoné, S. (1997). The local production of order in traditional science laboratories: a phenomenological analysis *Learning and Instruction*; vol7, 107-136.
- Rouchier, A. (1980) Situations et processus didactiques dans l'étude des nombres rationnels positifs. *Recherches en didactique des mathématiques*, 1.2, 225-276
- Schneider, M. (2001) Praxéologies didactiques et praxéologies mathématiques. A propos d'un enseignement des limites au secondaire *Recherches en didactique des mathématiques*, 21.1.2, 7-56
- Scott, P. (1998). Teacher Talk and Meaning Making in Science Classrooms : a Vygotskian Analysis and Review. *Studies in Science Education* 32, 45-80.
- Scott, P., Asoko, H.M., & Driver, R. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg., & H. Niedderer (Eds), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 310 - 329). Kiel: IPN.
- Séjourné, A. & Tiberghien, A. (2001). Conception d'un hypermédia en physique et Etude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage", *Hypermédiats et Apprentissages*, 5ème Colloque 9, 10 et 11 avril 2001
- Séré, M.-G. (coord.) (1998). *Labwork in Science education*. Final Report. Commission européenne.
- Solomon, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23 : 1-19.
- Southerland, S., Abrams, E, Cummins, C., Anzelmo, J. (2001). Understanding Students Explanations of Biological Phenomena : Conceptual Frameworks ou P-Prims ? *Science Education* 85, 328-348.
- Thompson, T.L. & Mintzes, J.J. (in press). Cognitive structure and the affective domain. On knowing and feeling in biology. *International Journal of Science Education*.
- Tiberghien, A. & Megalakaki, O. (1995). Characterisation of a modelling activity case of a first qualitative approach of energy concept. *European Journal of Psychology of Education*, Vol X, n°4, 369-383.
- Tiberghien, A. (2000). *Designing teaching situations in the secondary school*. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (Eds): *Improving science education: the contribution of research*. (pp. 27-47) Buckingham, UK: Open University Press.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C., & Millar, R. H. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85, 483-508.
- Tsoumpelis, L. & Gréa J. (1995) Essai d'application de la théorie des situations en sciences physiques. Apprentissage de la concentration molaire en classe de Première S (grade 11 US) *Recherches en Didactique des Mathématiques* 15.2, 63-108
- Vergnaud, G. (1981) Quelques orientations théoriques et méthodologiques des recherches françaises en didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 2.2, 215-231
- Vergnaud, G. (1994) Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel In : *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*, Artigue M., Gras R., Laborde C. & Tavinot P. (eds), (pp. 177-191) Grenoble : La Pensée Sauvage Editions
- Vergnaud, G., Rouchier, A. Desmoulières, S., Landré, C., Marthe, P., Ricco, G., Samurçay, R., Rogalski, J. & Viala, A. (1983) Une expérience didactique sur le concept de volume en classe de cinquième (12 à 13 ans). *Recherches en didactique des mathématiques*, 4.1, pp. 121-132.
- Vergnes, D. (2001) Effet d'un stage de formation en géométrie sur les pratiques d'enseignants de l'école primaire. *Recherches en didactique des mathématiques*, 21.1-2, 99-122
- Vérillon, P. & Rabardel, P. (1995) Cognition and Artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology in Education*, 9.3, 77-101.
- Vialle, B. (2001). *L'expérimentation assistée par ordinateur dans l'enseignement des sciences de la vie au lycée. Aide et obstacle à la rénovation de l'approche expérimentale*. Thèse Université de la Réunion.
- Vince, J. (2000). *Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de 2nd sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*". Thèse de Sciences de l'éducation, Université Lumière-Lyon 2.

- Vince, J & Tiberghien, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son." *Sciences et techniques éducatives*, 17.2, 333-366
- Voigt, J. (1996) Negotiation of mathematical meaning in classroom processes : Social interaction and learning mathematics. In L.P. Steffe, P. Nesher, P. Cobb, G. A. Goldin, & B. Greer (eds.) *Theories of mathematical learning* (pp.21-50). Mahwah, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- White, B. (1998). Computer microworlds and scientific inquiry: an alternative approach to science education. In B.J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.) *International handbook of science education*. (pp.295-315) Dordrecht: Kluwer Academic,
- White, R. & Gunstone, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11.5, 577-586.
- Yackel, E. (2001) Explanation, justification and argumentation in mathematics classrooms, In : M. van den Heuvel-Panhuizen (Ed.) *Proceedings of the 25th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol.1, pp.9-25). Utrecht, Nederland : Freudenthal Institute, Utrecht University.
- Yackel, E. & Cobb, P. (1996) Sociomathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 22, 390-408.

CONCLUSION DE LA SYNTHÈSE

Au terme de cette synthèse, nous voudrions souligner quelques éléments transversaux aux quatre thèmes qui paraissent essentiels pour des travaux futurs.

Tout d'abord le choix de quatre thèmes : “ les connaissances naïves sur le monde matériel du bébé à l'adulte ”, “ l'évolution des connaissances chez l'apprenant ”, “ l'articulation entre différents types de connaissances ”, et enfin “ les situations de formation et apprentissage des savoirs scientifiques et mathématiques ” montre la variété nécessaire des regards pour comprendre l'apprentissage et l'enseignement des savoirs scientifiques. Il fait également apparaître un point de vue, rarement pris, celui de l'articulation entre différents types de connaissances duquel émerge une série de questions nouvelles. En particulier, on ne sait pas grand-chose à l'heure actuelle de la façon dont les apprenants et plus généralement les êtres humains développent des types de connaissances comme les connaissances naïves et scientifiques qui coexistent tout au long de la vie ; on ne sait pas non plus comment elles interagissent. On peut dire qu'il y a un champ de recherches encore très peu exploré et pourtant essentiel si on veut comprendre l'apprentissage scientifique.

Le nombre important de références montre que, dans ces domaines, il existe peu de documents synthétiques au niveau de la recherche, alors que le nombre de travaux contribuant à cette synthèse est très grand, plus que ce que l'on pouvait le supposer au départ. Ainsi, on se trouve actuellement en présence soit d'articles de recherche spécifiques soit de documents destinés aux praticiens de la formation. Cette situation montre l'importance de développer des travaux conduisant à des documents synthétiques.

Cette synthèse fait bien sûr apparaître la complexité de l'étude des connaissances naïves, de l'apprentissage et de l'enseignement des savoirs scientifiques. Dans la prise en compte de cette complexité, les choix des “ grains d'analyse ” sont essentiels aussi bien concernant la durée que les savoirs.

En effet, quel que soit le point de vue de la recherche, celui de l'acquisition et les conditions d'acquisition ou celui de la construction de nouvelles significations par les apprenants et enseignant en situation via leur activité, il est nécessaire de prendre en compte des échelles de temps différentes. La durée de l'élaboration d'une signification d'un élément proposé à l'apprenant ou introduit dans une situation (un mot, une phrase, un objet, etc.) peut être inférieure à la seconde, mais celle de l'acquisition des concepts scientifiques va s'étaler sur des années.

Cette synthèse fait aussi apparaître la variété des points de vue sur les connaissances. Son titre même présuppose déjà un choix entre connaissances naïves et scientifiques mais d'autres sont possibles, comme nous l'avons déjà souligné, les ontologies, la structure des connaissances en mémoire, les structures logico-mathématiques, la cohérence de l'individu, la spécificité des savoirs scientifiques. De notre point de vue, l'explicitation de ces choix sur l'analyse des connaissances est indispensable si l'on veut une approche interdisciplinaire des phénomènes d'enseignement et d'apprentissage scientifiques. En particulier, pour comprendre l'importance des multiples artefacts dans l'apprentissage scientifique, il est nécessaire d'étudier le rôle des manipulations de ces artefacts dans la compréhension conceptuelle. On rejoint là des questions où les TICE interviennent et où il est à l'heure actuelle nécessaire de développer des recherches, sans les isoler des questions transversales d'enseignement et d'apprentissage.

Synthèse : Des connaissances naïves
au savoir scientifique

REMERCIEMENTS

Cette synthèse n'aurait pas pu être réalisée sans le travail régulier de **tous les membres du groupe restreint** que nous remercions très chaleureusement.

Liste du groupe restreint

Jean-Marc **Blanchard**, Ministère de l'éducation nationale, Chef du bureau du contenu des enseignements,
Représentant du ministère de l'éducation

Robert **Bouchard**, UMR GRIC, CNRS - Université Lumière Lyon 2 ; *Sciences du langage*

Christian **Buty**, UMR GRIC, CNRS - Université Lumière Lyon 2 ; *Didactique de la physique*

Maryline **Coquidet**, EST-LIREST, Bâtiment 407, Université de Paris-Sud, Orsay ; *Didactique des sciences de la Vie et de la Terre*

Françoise **Cordier**, Laboratoire Langage et Cognition (LaCo), UMR CNRS, Université de Poitiers ; *Psychologie cognitive*

Antoine **Cornuéjols**, Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), bât.490, Université de Paris-Sud, Orsay ;
Intelligence Artificielle

Colette **Laborde**, Laboratoire IMAG-Leibniz, Université Joseph Fourier – CNRS, Grenoble ; *Didactique des mathématiques*

Jean-François **Le Maréchal**, UMR GRIC, CNRS - Université Lumière Lyon 2 ; *Didactique de la chimie*

Anne-Laure **Monnier**, Ministère de l'éducation nationale, Bureau du contenu des enseignements ; *Représentante du ministère de l'éducation*

Janine **Rogalski**, Laboratoire Cognition & Activités Finalisées, ESA 7021 CNRS, Université Paris8 ;
Psychologie et Didactique professionnelle

Lorenza **Saitta**, Università del Piemonte Orientale, Dip. Scienze e Tecnologia Avanzate, Italie, *Représentante du Conseil Scientifique*

Andrée **Tiberghien**, UMR GRIC CNRS - Université Lumière Lyon 2 ; *Didactique de la physique*

Laurent **Veillard**, UMR GRIC CNRS - Université Lumière Lyon 2 ; *Didactique professionnelle*

Synthèse : Des connaissances naïves
au savoir scientifique

Liste des experts

Nous tenons à remercier tous les experts qui ont contribué au travail de cette synthèse

Michèle **Artigue**, Didactique des mathématiques
Equipe de recherche DIDIREM, Université Denis Diderot, Paris 7

Paolo **Boero**, Didactique des mathématiques
University of Genoa, Italy

Blandine **Brill** , Psychologie culturelle comparative
Groupe de recherche Apprentissage et contexte, EHESS, Paris

Reinders **Duit**, Didactique des sciences
IPN-Institute for Science Education/University of Kiel
Ohlshausenstrasse 62, 24098 Kiel, Allemagne

Paolo **Guidoni**, Didactique des sciences
V. Porta Labicana, 43 , 00185 Roma (RM)

Pierre **Pastré**, Didactique professionnelle
CNAM, Paris

Brigitte **Peterfalvi**, Didactiques des sciences expérimentales
INRP, Paris

Michael **Roth**, Sciences cognitives, didactique des sciences
Lansdowne Professor, Applied Cognitive Science, MacLaurin Building A548
University of Victoria, Victoria, Canada

Emmanuel **Sander**, Psychologie
CNRS ESA 7021, Université Paris 8
Saint-Denis Cedex 02, France

Arlette **Stréri**, Psychologie
Laboratoire Cognition et Développement, UMR
Université René Descartes Paris 5, Centre Henri Piéron

Jean-Emmanuel **Tyvaert**, Sciences du langage
Professeur de linguistique, Centre interdisciplinaire de recherches en linguistique et psychologie Cognitive,
Université de Reims, Reims cedex

Stella **Vosniadou**, Psychologie
National and Capodistrian University of Athens
Department of Philosophy and History of Science, Greece,

Dominique **Vinck**, Sociologue
CRISTO, Grenoble