

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
en association avec
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE TRANSFERT DE CONNAISSANCES ENTRE LES MATHÉMATIQUES ET
LES SCIENCES. Une étude exploratoire auprès d'élèves de 4^e secondaire.

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN ÉDUCATION

PAR GHISLAIN SAMSON

DÉCEMBRE 2003

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Il faut montrer à tisser des liens et non à remplir le cerveau.

Albert Jacquard

Cette thèse intitulée

LE TRANSFERT DE CONNAISSANCES ENTRE LES MATHÉMATIQUES ET
LES SCIENCES. Une étude exploratoire auprès d'élèves de 4^e secondaire.

Présentée par Monsieur Ghislain SAMSON
a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Monsieur Rodolphe TOUSSAINT, directeur de recherche
Professeur au département des sciences de l'éducation, UQTR

Monsieur Richard PALLASCIOS, codirecteur de recherche
Professeur au département de mathématiques, UQÀM

Madame Louise LAFORTUNE, présidente du jury
Professeure au département des sciences de l'éducation, UQTR

Madame Gisèle LEMOYNE, examinatrice
Professeure à la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal

Madame Cathy ARSENEAULT, examinatrice
Professeure au département des sciences de l'éducation, UQAR

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes m'ont encouragé et apporté leur assistance tout au long du parcours doctoral. C'est avec beaucoup de plaisir et de sentiments que je leur adresse ici mes plus sincères remerciements.

En tout premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à messieurs Rodolphe Toussaint et Richard Pallascio qui, à titre de directeur et de codirecteur de recherche, ont éclairé ma démarche de recherche et de production scientifique. La constance de l'accompagnement, la rigueur et la complémentarité des observations ainsi que leur entière disponibilité ont largement contribué à la réalisation et la complémentation de cette thèse. Ce fut pour moi une chance exceptionnelle et un grand bonheur d'être supporté par des personnes aussi compétentes et aussi généreuses de leur humanité.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de mon comité de thèse : madame Louise Lafortune, présidente de jury, madame Gisèle Lemoyne et madame Cathy Arseneault, examinatrices externes. Leur expertise et leurs critiques constructives ont contribué, à différents niveaux, à rehausser la qualité de cette thèse.

J'ai aussi bénéficié des commentaires précieux et des suggestions forts pertinentes de mes collègues et amis Carole Marcoux et Stéphane Thibodeau avec lesquels j'ai partagé mes joies et mes peines lors de ces belles années. Je ne peux passer sous silence l'apport de messieurs Pierre Mélançon et André Lemieux pour leur soutien inconditionnel à titre de lecteurs et de réviseurs. Que ces personnes si chaleureuses soient assurées de ma reconnaissance.

J'aimerais souligner la compréhension de mon employeur, la Commission scolaire de l'Énergie ainsi que celle de mes patrons immédiats qui m'ont permis une organisation d'horaire facilitante afin de réaliser ce travail de réflexion.

Cette thèse a été rendue possible grâce à la volonté manifeste des enseignants et enseignantes Denyse Beaudoin, Nathalie Deschênes, Michelle Grondin, Gisèle Veillette, Michel Héroux et Francis St-Arnault, et de leurs élèves des écoles secondaires Val-Mauricie et Paul-Le Jeune. Je voudrais témoigner de l'ouverture intellectuelle et l'appui sans réserve des directions d'écoles de l'époque, Madame Lise Dubuc et Monsieur Daniel Bussière.

Je tiens aussi à souligner le support moral et fraternel que m'ont offert plusieurs parents et amis. À cette étape combien importante de ma carrière, je ne saurai oublier les sentiments de grande affection et les souhaits de très grande réussite que n'ont jamais cessé de me témoigner des personnes qui me sont chères et qui ont cru en moi. Ainsi, mes parents, Madeleine et Bruno, mes sœurs Sylvie, Guylaine et Nancy, mes beaux-parents et toute ma famille méritent ma plus grande reconnaissance.

Enfin, intimement associés à cette expérience, il y a une femme et des enfants. Que Chantal, ma conjointe, trouve en ces pages le fruit de mes réflexions, de mon travail et de mes nombreuses absences comme conjoint. Sa patience et sa compréhension ont été des sources inépuisables de motivation et d'inspiration, je ne saurai trouver les mots les plus justes pour exprimer tout ce que je ressens. C'est à mes enfants, Rosalie et Florence que je dédie le présent travail. Puissent-elles tirer le meilleur de leur éducation.

Ces travaux furent grandement facilités par l'octroi de bourses d'études dans le cadre du projet « *La relève scientifique en Mauricie et au Centre-du-Québec : une étude sur la perception des sciences et de la technologie. Propositions d'innovations et état de la situation* » (Projet 00-RS-1005) du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies accordé à Monsieur Rodolphe Toussaint, Université du Québec à Trois-Rivières, du laboratoire LERTIE et des Fonds institutionnels de recherche (FIR) de l'UQTR. Je remercie sincèrement ces organismes pour leur encouragement à la recherche et à la poursuite d'études supérieures.

· Table des matières

REMERCIEMENTS	iv
Table des matières	vi
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xi
Liste des abréviations, des sigles et des acronymes	xiii
RÉSUMÉ.....	xiv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	6
La problématique	6
1.1 Source de questionnement.....	9
1.2 Cloisonnement des disciplines	11
1.3 Liens unissant les mathématiques et les sciences.....	13
1.4 Les mathématiques comme agent de sélection	20
1.5 État des connaissances sur l'importance du transfert dans l'apprentissage	21
1.6 Cadre de référence de la recherche	23
1.6.1 Stratégies générales	27
1.6.2 Stratégies spécifiques	29
1.7 Objectifs de la recherche	32
1.8 Limites de la recherche	32
CHAPITRE II.....	35
Le cadre conceptuel.....	35
2.1 Le transfert comme sous-processus de l'apprentissage : quelques définitions..	39
2.1.1 Taxonomie du transfert	43
2.2 Recherches sur les concepts de novice et d'expert	53
2.3 Indicateurs potentiels du transfert	56
2.3.1 Similitude et isomorphisme.....	57
2.3.2 Connaissances antérieures ou bases de connaissance	61
2.3.3 Organisation des connaissances	63
2.3.4. Contexte du problème	65
2.4 Recherches sur les connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	70
2.4.1 La nature des connaissances.....	70
2.5 Le transfert est-il une forme d'application ou de généralisation?	73
2.6 La RDP pour favoriser l'émergence d'un transfert.....	77
2.7 En résumé	79

CHAPITRE III	81
La méthodologie.....	81
3.1 Type de recherche et mode d'investigation	82
3.1.1 Dispositif méthodologique	82
3.1.2 Mise à l'essai des instruments.....	84
3.2 Procédure pour l'étude pilote	84
3.3 Postulat de recherche.....	88
3.4 Opérationnalisation et validation des indicateurs retenus.....	90
3.4.1 Similitude de surface et de profondeur	94
3.4.2 Bases de connaissance ou connaissances antérieures	97
3.4.3 Organisation des connaissances	98
3.4.4 Contexte du problème	99
3.5 Élaboration des outils.....	100
3.5.1 Composition de l'épreuve	100
3.5.2 Composition du protocole d'entretien.....	103
3.6 L'étude à partir de l'épreuve	105
3.6.1 Sélection et définition de la population à l'étude	105
3.6.2 Choix des sujets.....	106
3.6.3 Passation de l'épreuve	107
3.6.4 Avantages et limites	109
3.6.5 Analyse des données	111
3.7 L'étude à partir de l'entretien semi-structuré.....	111
3.7.1 Sélection et définition de la population à l'étude	112
3.7.2 Choix des sujets.....	113
3.7.3 Déroulement de l'entretien.....	114
3.7.4 Procédure de collecte de données	115
3.7.5 Avantages et limites	117
3.8 Modalité d'analyse	118
3.8.1 Analyse des données des entretiens	118
3.8.1.1 La transcription des entretiens	119
3.8.1.2 La lecture du matériel.....	120
3.8.1.3 Réduction ou condensation des données	121
3.8.1.4 L'opération de codage	121
3.8.1.5 La scientificité du codage.....	127
3.8.2 Élaboration d'une grille de correction pour la RDP de l'épreuve et de l'entretien	128
3.9 Considération déontologiques	129
CHAPITRE IV	130
Analyse et interprétation des résultats.....	130
4.1 L'épreuve	131
4.1.1 La section B de l'épreuve.....	131

4.1.2 La section C de l'épreuve.....	136
4.2 Résultats, analyses et interprétation de l'entretien	141
4.2.1 La section 1 de l'entretien	141
4.2.2 La section 2 de l'entretien : quelques liens relevés.....	146
4.2.3 La section 2 B de l'entretien	152
4.2.4 Comparaison des résultats de l'épreuve et de l'entretien	158
4.2.5 La section 4 de l'entretien	164
4.3 Analyses et interprétation de l'entretien selon les trois concepts mathématiques	169
4.3.1 Le taux de variation.....	169
4.3.2 Les proportions.....	171
4.3.3 Le théorème de Pythagore.....	172
4.4 Analyses et interprétation de l'entretien selon les indicateurs retenus	174
4.4.1 Les bases de connaissance	174
4.4.2 L'organisation des connaissances	175
4.4.3 Les similitudes	179
4.4.4 Le contexte	181
4.5 Seconde analyse à partir de la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	182
4.5.1 Analyse à partir des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	183
CHAPITRE V	195
Synthèse et conclusion	195
5.1 Résumé de la recherche.....	195
5.2 Synthèse des résultats.....	197
5.3 Principaux apports de la recherche	205
5.3.1 Aspects théoriques	205
5.3.2 Aspects méthodologiques.....	209
5.3.3 Originalité de la recherche	212
5.4 Limites de la recherche	213
5.4.1 Aspects théoriques	214
5.4.2 Aspects méthodologiques.....	215
5.5 Éléments de conclusion.....	217
5.5.1 Aspects théoriques	218
5.5.2 Aspects méthodologiques.....	219
5.6 Prospectives de recherche	219
5.6.1 La motivation	220
5.6.2 L'intérêt.....	221
5.6.3 La métacognition.....	221
5.6.4 L'apprentissage	222
5.6.5 L'enseignement	223
5.6.6 Le curriculum	224

RÉFÉRENCES.....	226
LISTE DES APPENDICES	255
ANNEXES (LISTE DES TABLEAUX COMPLÉMENTAIRES)	303

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Représentation schématique du concept de taux de variation en mathématiques et en sciences physiques	10
Figure 1.2 : Deux types de stratégies favorisant le transfert à divers degrés	26
Figure 2.3 : Réseau de concepts des typologies du transfert	52
Figure 2.4 : Représentation schématique du contexte entourant le problème, la tâche ou la situation	69
Figure 2.5 : Représentation schématique du concept de distance permettant de distinguer l'application, la généralisation et le transfert.....	76
Figure 4.6 Structure utilisée en entretien pour la classification des problèmes selon la perception du contexte	152
Figure 4.7 Exemples de réponse du sujet 2-1-5-29	176
Figure 5.8 : Esquisse en slalom d'une opérationnalisation didactique d'une démarche de RDP en situation potentielle de transfert.....	211

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Études rapportant l'importance plus ou moins grande rattachée aux concepts mathématiques en sciences	15
Tableau 3.2 : Différents niveaux de transfert et énoncés typiques selon Fogarty (1987, cité dans Lazear, 1994)	89
Tableau 3.3 : Opérationnalisation des indicateurs retenus	93
Tableau 3.4 : Grille d'élaboration des questions de l'épreuve	95
Tableau 3.5 : Présentation des problèmes utilisés lors de l'entretien.....	105
Tableau 3.6 : Composition de l'échantillon pour la passation de l'épreuve	107
Tableau 3.7 : Synthèse des problèmes proposés à l'épreuve.....	109
Tableau 3.8 : Répartition des sujets pour la passation de l'entretien dans chacune des écoles	114
Tableau 3.9 : Exemple d'une grille de codage pour l'analyse des entretiens ...	123
Tableau 3.10 : Clés de codage pour les entretiens en fonction des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	125
Tableau 4.11 : Grille de correction qualitative incluant les scores et la description de chacun	132
Tableau 4.12 : Synthèse des pourcentages de réponses obtenues aux problèmes 1 à 8 de l'épreuve en fonction des scores pour les différents groupes (sous-question b).....	133
Tableau 4.13 : Type de liens établis entre deux situations (pour les sous-questions C₁, C₂ et C₃).....	138
Tableau 4.14 : Fréquences les plus élevées des dimensions retenues pour la section 1 de l'entretien	142
Tableau 4.15 : Occurrences selon les catégories de liens pour la section 2a (retour sur l'épreuve).....	148
Tableau 4.16 : Taxonomie et occurrences des liens pour chacune des questions de l'épreuve (section 2a de l'entretien) pour l'ensemble des cinq groupes	150
Tableau 4.17 : Perception du contexte des problèmes de l'épreuve	153
Tableau 4.18 : Comparaison des résultats obtenus par les élèves et les enseignants à la classification des questions	156
Tableau 4.19 : Répartition des problèmes à l'épreuve (Épr.) et à l'entretien (Entr.) en fonction des scores obtenus.....	159
Tableau 4.20 : Moyennes académiques exprimées en pourcentage pour chaque sujet présent à l'entretien	163
Tableau 4.21 : Réponses obtenues dans l'entretien (section 4)	165
Tableau 4.22 : Nombre et pourcentage d'occurrences par sujet selon la typologie des types de connaissances dans la section 1-Questions sur l'école.....	184

Tableau 4.23 : Nombre et pourcentage d'occurrences par sujet selon la typologie des trois types de connaissances dans la section 2- Retour sur l'épreuve..	185
Tableau 4.24 : Synthèse des réponses obtenues aux sous-questions (exprimées en proportions) de l'entretien selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	187
Tableau 4.25 : Synthèse des réponses obtenues aux sous-questions II selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	189
Tableau 4.26 : Synthèse des proportions supérieures à 50 % (réponses obtenues aux sous-questions de la section 2 selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	191
Tableau 4.27 : Synthèse des réponses obtenues à la section 4 selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles	192
Tableau 4.28 : Caractéristiques d'un bon et d'un moins bon transféreurs.....	204

Liste des abréviations, des sigles et des acronymes

AAAS	American Association for the Advancement of Science
AIE*	Association internationale pour l'évaluation de l'enseignement
CSÉ	Conseil supérieur de l'éducation
MÉQ	Ministère de l'Éducation du Québec
OCDE	Organisation du coopération et du développement économiques
PISA	Programme international pour le suivi des acquis des élèves
RDP	Résolution de problèmes
SFAA	Science for All Americans
STM	Sciences, technologie et mathématiques
STS	Sciences, Technologie et Société

Selon le système international de mesure

G	Conductance
U	Différence de potentiel
I	Intensité du courant
R	Résistance
S	Unité de la conductance en Siemens
A	Unité de l'intensité du courant en Ampères
Ω	Unité de la résistance en Ohms

* Traduction libre de IEA : International Association for the Evaluation of the Educational Achievement

RÉSUMÉ

Au moment où dans plusieurs pays on travaille à refondre les programmes d'études, tant au primaire qu'au secondaire, l'intérêt pour le transfert renaît. Un des concepts fondamentaux en apprentissage consiste en l'habileté à réutiliser de façon consciente et efficace un acquis d'une situation à une autre situation.

Cette recherche émane de préoccupations professionnelles au moment où le chercheur était enseignant au secondaire. Au cours de ces années, il lui a été possible de constater que plusieurs élèves percevaient difficilement les liens présents entre les disciplines mathématiques et scientifiques.

Des travaux en psychologie cognitive et plus particulièrement selon une perspective du traitement de l'information ont servi de cadre de référence pour évaluer et analyser les capacités de transfert auprès d'élèves de 4^e secondaire. Ce cadre de référence permet de formuler le principal objectif qui est de mieux comprendre le processus de transfert chez des élèves en situation de résolution de problèmes scientifiques. Cette thèse s'intéresse donc au transfert en tant que phénomène important du processus d'apprentissage au sens de l'intégration.

La méthode de recherche choisie, de nature qualitative, est principalement axée sur l'évaluation de la capacité à transférer des connaissances lors d'une épreuve et d'un entretien. Pour évaluer ce potentiel de transfert, nous avons élaboré deux outils : une épreuve en mathématiques et en sciences et un guide d'entretien. Pour la passation de l'épreuve, le chercheur a pu compter sur la collaboration de 130 sujets provenant de deux écoles. L'entretien complète la prise de données avec 13 sujets ayant accepté de poursuivre l'étude.

Les données recueillies par ces instruments font ensuite l'objet d'une analyse de contenu. En premier lieu, les verbatims de l'épreuve et de l'entretien ont été transcrits, puis codifiés. La correction des réponses fournies pour les problèmes résolus s'est faite à partir d'une grille d'analyse qualitative et adaptée de la littérature (Thouin, 1995). Une seconde série d'analyses permettant de catégoriser les réponses selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles complète la prise de données.

Nos résultats indiquent que les sujets sont très influencés par des éléments de surface, principalement lorsqu'il s'agit de problèmes auxquels ils ne sont pas habitués. En l'absence de connaissances de base, plusieurs sujets vont tendre vers des propositions de solution « pratico-pratique » provenant de leur vécu : cela nous apparaît d'importance d'un point de vue didactique et en matière de transfert.

Lors des entretiens réalisés un mois plus tard, les sujets ont éprouvé de la difficulté à se rappeler le contenu de l'épreuve. Et lorsqu'il y avait un rappel, celui-ci était superficiel et surtout axé sur le contenu ou le contexte d'un problème. La plupart des sujets ne pouvait nommer que deux ou trois éléments (des problèmes en mathématiques, en sciences physiques, le problème de la fenêtre, le problème du laser, etc.). Nos résultats confirment ce que plusieurs chercheurs (Julo, 1995, Jonnaert et Vander Borght, 1999; Richard *et al.*, 1990) qui s'intéressent aux questions de l'apprentissage admettent aujourd'hui : l'élève ne travaille jamais sur la situation proposée par l'enseignant, mais bien sur la représentation qu'il s'en est construite.

Au plan méthodologique, cette recherche est intéressante par la variété des sources de collecte de données utilisées, par l'application d'outils méthodologiques et d'analyses originaux tirés de la recherche et de la pratique. Du côté théorique, il résulte de cette étude une meilleure compréhension du processus de transfert des connaissances mathématiques vers les sciences physiques. Finalement, aux plans didactique et pédagogique, cette recherche alimente la réflexion sur l'apprentissage et l'enseignement des sciences au secondaire. Elle fait ressortir que les mathématiques sont importantes dans la mobilisation de certaines connaissances scientifiques et que l'enseignant peut et devrait jouer un rôle pour favoriser le *transfert*.

INTRODUCTION

Le 20^e siècle aura été marqué par une succession de bouleversements qui ont eu des conséquences directes sur l'évolution industrielle, le développement des sciences et des mathématiques et, par ricochet, sur la technologie en général. Du même coup, les mathématiques et les sciences sont devenues pratiquement essentielles à la compréhension du monde où nous vivons.

Les sciences font de plus en plus partie de notre culture car elles jouent un rôle majeur dans la vie quotidienne par leurs applications concrètes dans différents domaines d'activités, que ce soit la santé, la production industrielle, l'agriculture ou l'économie. Elles rejoignent maintenant à peu près tout le monde, et ce, dans toutes les couches de la société. Cette dernière profite continuellement de cette expansion et considère la connaissance scientifique comme un facteur de promotion et d'avancement professionnels des individus (CSÉ, 1990). De leur côté, les mathématiques se développent avec autant de rapidité, au point d'influencer tout l'environnement journalier. Que ce soit à la maison, au marché, au travail ou encore dans les lectures, les mathématiques demeurent un outil indispensable du quotidien. Comme le souligne le ministère de l'Éducation du Québec (1994, p. 23), certaines habiletés telles que « calculer, mesurer, estimer et résoudre des problèmes sont des opérations quotidiennes de la vie en société ».

Tout comme les mathématiques, les sciences sont devenues, au fil du temps, des réalités sociales indispensables. En ce sens, les cours de sciences offerts au secondaire ont pour objectif de léguer aux élèves une culture de base dans différents

champs de la science : par exemple, en biologie à propos de l'hygiène personnelle, de l'alimentation et des maladies transmissibles sexuellement, en physique sur l'utilisation de l'électricité dans la vie de tous les jours ou la compréhension de certains principes physiques et en chimie sur la composition des aliments et des médicaments ou l'explication de certains procédés industriels (Bybee et DeBoer, 1994).

Alors qu'on les avait cru longtemps réservées à une minorité de spécialistes et confinées dans des laboratoires ou à des bouquins, on s'aperçoit aujourd'hui que les sciences rejoignent les individus dans leur environnement quotidien et immédiat et modèlent ainsi le style de vie et la manière d'être de ceux-ci. À l'instar d'autres domaines de la connaissance, tels la philosophie ou les arts, les sciences contribuent de plus en plus à l'élargissement et à l'essor de la pensée, de même qu'à la résolution des problèmes de l'humanité. « On n'apprend plus uniquement les sciences; on les vit quotidiennement, on les intègre dans ses choix journaliers, dans ses manières de penser et d'agir » (CSÉ, 1990, p. 5). Dans un monde de plus en plus placé sous le signe de la technologie, tous les adultes et pas uniquement ceux qui se destinent à une carrière scientifique, doivent être outillés et cultivés en mathématiques et en sciences. Les écarts prononcés de performance à l'échelle de la culture mathématique et scientifique présentés dans ce chapitre indiquent toutefois que ce but est loin d'être atteint et « que les pays doivent prendre en charge un très large éventail de besoins de leurs élèves : ceux qui réalisent des performances exceptionnellement hautes, mais aussi les plus faibles » (OCDE, 2001, p. 101).

Les sciences, au même titre que les mathématiques, sont avant tout un outil de développement de la pensée. À ce titre, elles participent, par le biais des contenus qu'elles proposent, à l'érudition des individus et, par l'approche qu'elles exigent, à

l'exercice et au développement des facultés mentales de l'être humain. Les sciences et les mathématiques, en plus de contribuer à nourrir la pensée, l'exercent, l'éprouvent, la forgent et vont même jusqu'à l'influencer. En ce sens, il est souvent dit qu'elles mènent l'esprit vers l'objectivité et la rationalité, celui-ci se laissant facilement entraîner par ses impressions premières et par des croyances plus ou moins mythiques (CSÉ, 1990).

Or, devant ces états de fait, nous serions en mesure de nous attendre à ce que l'apprentissage des mathématiques et des sciences à l'école secondaire ne rencontrent pas de difficultés majeures, voire de réticences soutenues, étant donné la valeur que la société lui accorde aujourd'hui. De plus, il serait logique de prévoir une ruée vers les emplois nécessitant une préparation mathématique, scientifique ou technique. Pourtant, la société actuelle fait face aujourd'hui à une pénurie de main-d'oeuvre qualifiée dans certains domaines relevant des mathématiques, des sciences ou de la technologie. Des études du Conseil de la science et de la technologie (1994; 1998) tendent à démontrer que les jeunes Québécoises et Québécois ne s'orientent pas en nombre suffisant vers les carrières scientifiques et techniques, du moins en comparaison avec la plupart des pays industrialisés. Et l'avenir ne semble guère prometteur! D'ailleurs, peu de jeunes sont intéressés à poursuivre une carrière scientifique (Fontaine, 1998; Proulx, 1998). « Des enquêtes révèlent que les jeunes ont, dans l'ensemble, peu d'intérêt pour les sciences et qu'ils entretiennent des préjugés et des stéréotypes négatifs à l'égard de la science et des scientifiques » (Conseil de la science et de la technologie, p. 6, 1994; Garnier, 2000; MEQ, 2001b).

Pourquoi fuit-on les sciences? L'une des principales raisons est certainement liée aux difficultés rencontrées dans l'apprentissage de celles-ci. Dans l'étude de

Garnier (2000), les élèves déclarent « que les mathématiques, la physique et la chimie sont des matières difficiles... » (p. 180).

La présente étude porte sur le processus d'apprentissage et plus spécifiquement sur les difficultés à transférer des connaissances mathématiques dans le domaine des sciences ou dans un autre contexte. Ce questionnement à l'égard du transfert est pleinement justifié considérant l'évolution accélérée de la société et la nécessité pour l'individu de s'adapter constamment, et par conséquent, de développer des capacités à transférer.

Notre intérêt pour le transfert de connaissances nous amène, dans un premier chapitre à situer la problématique entourant les programmes d'études par objectifs (encore en vigueur en 2003), au regard des liens à tisser entre les disciplines et des difficultés d'apprentissage reliées à ces disciplines. L'école actuelle ne conduit pas, pense-t-on, à l'établissement de liens entre les disciplines d'un même niveau, entre les disciplines des niveaux différents ou entre les apprentissages scolaires et les activités quotidiennes.

Après avoir situé le problème de recherche, nous présentons le cadre théorique sur lequel repose l'étude. Ainsi, le second chapitre expose différentes recherches ayant traité du transfert ou de problématiques émanant de ce concept. On y trouve une recension des écrits à partir de laquelle a été élaborée une synthèse des différentes typologies du transfert. Pour mieux cerner les difficultés d'apprentissage et afin d'établir des indicateurs du transfert, nous nous sommes également inspirés des recherches effectuées autour du construct « novice-expert » en résolution de problèmes .

Dans le troisième chapitre sont exposées et explicitées les décisions méthodologiques qui ont permis d'atteindre les objectifs visés. Après l'énoncé du type de recherche et la description de la méthodologie retenue, les méthodes d'analyse des données sont présentées de même que les techniques de collecte et de codage de ces données. Le chapitre se termine par une description des moyens utilisés pour assurer la validité de la recherche tout en respectant les règles déontologiques relatives aux recherches auprès de sujets humains. Le chapitre quatre fait état de la présentation des résultats obtenus et de l'interprétation. Le chapitre cinq présente une synthèse des résultats obtenus et la section suivante propose d'abord des limites théoriques et méthodologiques suivies de prospectives et d'éléments de conclusion. En annexe sont regroupés les instruments de mesure, notamment l'épreuve et le guide d'entretien, diverses lettres de consentement ou d'appui et des données brutes.

CHAPITRE I

LA PROBLEMATIQUE

En ce début de 21^e siècle, alors que science, technologie et société sont intimement liées, il importe de s'interroger à la fois sur les difficultés et les résistances des jeunes face à l'apprentissage des mathématiques et des sciences. Une telle interrogation est d'autant plus importante que les nombreuses innovations qui caractérisent dès le départ le troisième millénaire exigent un minimum de connaissances techniques et scientifiques essentielles à l'épanouissement des membres de la société. De nos jours, peut-être plus que jamais, les mathématiques, les sciences et la technologie jouent un rôle décisif dans presque toutes les activités humaines (Orpwood, 1990). S'il est aisé de reconnaître l'omniprésence de ces disciplines et leur valeur respective, il en va bien autrement dans l'identification des problèmes reliés à leur apprentissage.

Depuis une vingtaine d'années, le nombre de recherches dans le domaine de la didactique des sciences et des mathématiques n'a cessé d'augmenter (Dumas-Carré et Gomatos, 2001; Johsua et Dupin, 1993; Lemoyne et Conne, 1999; Malafosse, LeRouge et Dusseau, 2001; Vergnaud et Chartier, 1994; Weil-Barais, 1994). Qu'il s'agisse de problèmes d'apprentissage, de motivation, d'attitude ou de curriculum, d'importantes sommes d'argent ont été allouées pour rendre compétitif sur le plan international l'enseignement des sciences et des mathématiques. À titre d'exemple, l'approche « Sciences, Technologie et Société », mieux connue sous l'acronyme STS, a été proposée à l'école afin d'amener les élèves à une meilleure compréhension des sciences. La chimie dans la vie quotidienne ou *ChemCom (Chemistry in the Community)* est l'un des meilleurs exemples de la façon dont le programme STS est

mis en oeuvre dans les écoles américaines, où l'on accorde une importance croissante aux applications scientifiques dans le domaine de la technologie et dans la société (Britton, 1997; James et Le Coq, 1997).

Même si, à première vue, cette approche devait pousser les jeunes à s'intéresser aux sciences, il semble que les objectifs n'aient pu être atteints, certains résultats plutôt faibles montrant que les jeunes d'aujourd'hui n'apprécient guère plus les sciences à l'école secondaire.

Devant l'insuccès rencontré, la AAAS aux États-Unis a mis sur pied le « PROJET 2061 » (*American Association for the Advancement of Science*, 1993) visant à mieux planifier l'enseignement des sciences pour le 21^e siècle. Divisé en cinq étapes, ce projet a pour but d'aider à la réforme de l'éducation en sciences, en mathématiques et en technologie. La première étape *Science For All Americans* (AAAS, 1989) a consisté à établir une liste de compétences au sortir du *High school*. Par la suite, le *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1993) a permis de définir les étapes de l'apprentissage pour les ordres primaire et secondaire. Le troisième, *Designs for Science Literacy* (AAAS, 1993), constitue un *Handbook* destiné à l'enseignant désireux de se familiariser avec une approche systémique. Enfin, le *Blueprints for Reform* (AAAS, 1998) est une liste de recommandations des experts sur le matériel à utiliser, les politiques éducatives et l'organisation de l'école, par exemple. La visée à travers ce projet est le développement d'une certaine culture scientifique et technique au sein de la jeunesse américaine au sortir de l'école. Outre la promotion de cette culture, le but est également de favoriser la création de liens entre les mathématiques, les sciences, et la technologie.

Ces projets développés pour contrer les difficultés rencontrées dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences se basent sur l'idée du concept unificateur ou *Integrated sciences*. Cette approche reconnaît l'importance de tisser des liens (MEQ, 1997), et notamment de lier les mathématiques, aux sciences et à la technologie (AAAS, 1993; Hurley, 2001; Van Scotter, Bybee et Dougherty, 2000).

En outre, le choix de regrouper les disciplines « mathématiques, sciences et technologie » dans le programme d'études commun répond enfin à une intention d'intégration disciplinaire, tandis que le regroupement « sciences, technologie et société » retenu par plusieurs autres pays (Yager et Lutz, 1995) dont les États-Unis et la province de Québec jusqu'à tout récemment relève plus souvent de la multidisciplinarité que de l'interdisciplinarité (Busque et Lacasse, 1998). En Ontario, l'intégration de ces matières à l'intérieur de programmes spécifiques (STM) existe depuis maintenant quelques années et il semble que les résultats soient satisfaisants. Au Québec, la réforme du curriculum, tant au primaire qu'au premier cycle du secondaire, propose de jumeler des disciplines telles que les mathématiques, les sciences et la technologie en un seul et même domaine d'apprentissage. À première vue, cette proposition est intéressante. Il semble toutefois que les applications réelles pour des élèves de ces groupes d'âges soient limitées selon le peu de propositions trouvées dans le Programme de formation de l'école québécoise (MEQ, 1999, 2001a, 2003).

L'école actuelle est conviée à dépasser le cloisonnement disciplinaire afin d'amener les élèves à mieux intégrer les apprentissages et à établir des liens pour espérer un réinvestissement (Samson, 2002a). Le regroupement des disciplines en

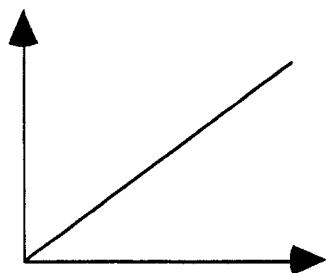
domaines d'apprentissage (MEQ, 2001a; 2003) traduit-il vraiment cette volonté d'établir des relations aussi nombreuses que possibles?

1.1 Source de questionnement

La présente recherche consiste en une étude exploratoire sur le transfert dans une démarche de résolution de problèmes (RDP) mathématico-scientifiques. L'idée de cette étude émane de préoccupations professionnelles dans l'enseignement des sciences au secondaire. Ainsi, il a été possible de constater que certains élèves avaient de la difficulté à réutiliser à l'intérieur d'une discipline des connaissances acquises dans une autre discipline. Par exemple (figure 1.1) : Pourquoi un concept mathématique, présumé acquis (la pente), n'est-il pas réutilisé de façon appropriée dans le cours de sciences physiques de quatrième secondaire, plus particulièrement en électricité?

MATHÉMATIQUES

Calculer le taux de variation



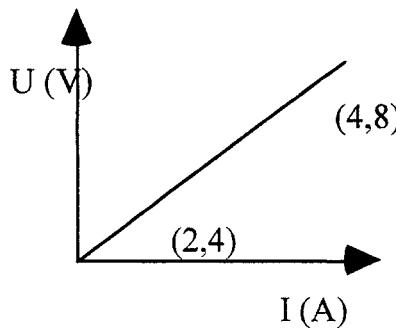
$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

T
R
A
N
S
F
E
R
T
?

SCIENCES PHYSIQUES (électricité)

Calculer la valeur de la résistance et de sa conductance



$$U = RI$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{8-4 \text{ V}}{4-2 \text{ A}} = 2 \text{ Ohms}$$

$$\text{Sachant que } G = \frac{1}{R} \text{ ou } \frac{I}{U}$$

$$G = \frac{4-2 \text{ A}}{8-4 \text{ V}} = 0,5 \text{ Siemens}$$

Légende

où $y = mx + b$ est l'équation d'une droite et m la pente de celle-ci

où U représente la différence de potentiel en Volts, R la résistance en Ohms, I l'intensité du courant en Ampères et G la conductance en Siemens

Figure 1.1 : Représentation schématique du concept de taux de variation en mathématiques et en sciences physiques

Alors, comment expliquer cette difficulté à pouvoir réinvestir un acquis dans un autre contexte? Quel est le problème?

L'insuffisance du temps consacré par les jeunes à l'étude, leur désintérêt envers les disciplines scientifiques et mathématiques de même que le caractère abstrait de celles-ci sont des problèmes bien documentés (Aubé, 1995; Garnier, 2000; Weil-Barais, 1994). Par ailleurs, la formulation des programmes en terme d'objectifs a aussi contribué aux difficultés d'apprentissage et possiblement de transfert rencontrées dans la plupart des écoles du Québec. Un programme par objectifs propose une perspective analytique, une prolifération des objectifs, un morcellement des connaissances et contribue inévitablement au cloisonnement disciplinaire (Samson, 2002a).

1.2 Cloisonnement des disciplines

Dans bon nombre de pays industrialisés, l'unification des cursus scolaires et la structuration des programmes en objectifs ont connu une grande popularité au cours des dernières décennies. Les résultats sont connus : les élèves ont de la difficulté à tisser des liens entre les contenus disciplinaires, entre les disciplines ou même entre l'école et les activités quotidiennes (Provost, 1994 ; Samson 2002c ; Sousa, 2002). L'évolution rapide de la société constitue d'ailleurs, pour notre système d'éducation, un obstacle majeur à la préparation des jeunes d'aujourd'hui à la société de demain. Il est difficile actuellement de prévoir toutes les connaissances dont l'élève aura besoin demain. Nous devons donc nous assurer qu'il soit pourvu d'une solide formation de base, d'habiletés et d'attitudes essentielles à son adaptation et à sa capacité de

réinvestir ses connaissances afin de se munir de celles dont il aura besoin au cours de sa vie (MEQ, 1993). Il ne faut pas oublier que les contenus enseignés en sciences, aujourd’hui, seront fort probablement transformés ou à la limite dépassés, dans 15 ou 20 ans.

Par ailleurs, les nouvelles formes de travail industriel et la nécessité pour beaucoup de jeunes de changer plusieurs fois de métier ou de profession au cours de leur vie les conduisent à des situations souvent inattendues. Tout cela exige des potentialités qui débordent largement les compétences que permettent de développer les formations monodisciplinaires, surtout celles inspirées du modèle par objectifs. En favorisant la résolution de problèmes décontextualisés, l’accent est mis uniquement sur les contenus disciplinaires (apprentissage par tiroirs). Une telle pratique ne peut amener que le cloisonnement des apprentissages, car chaque cours est conçu et donné comme une entité séparée des autres. Par ailleurs, la structure même de l’école québécoise propose des apprentissages éclatés, des apprentissages non intégrés. Les connaissances sont transmises de façon parcellaire, chaque cours se présentant comme un compartiment étanche (Cantin, Lacasse et Roy, 1996). Une ségrégation des savoirs entrave leur utilisation hors du contexte dans lequel ils ont été appris et un stockage brut de ceux-ci (savoirs juxtaposés au lieu d’être emboîtés et hiérarchisés) conduit à ce que l’on peut appeler de l’apprentissage « en surface » et s’oppose à l’intégration des savoirs. L’expérience a montré que l’enseignement des disciplines, tel qu’il est pratiqué habituellement, ne réussit pas à assurer le transfert, qui demeure le privilège des élèves les plus doués (D’Hainaut, 1991). Heureusement, on constate que, depuis la dernière décennie, la tendance à isoler les programmes disparaît peu à peu. En 1990, le Conseil supérieur de l’éducation émettait la recommandation : « ... que soient élaborés par des ressources qualifiées, et avec la participation des enseignants, des guides pratiques permettant d’explorer les

possibilités de contact et de rapprochement entre les sciences de la nature et d'autres disciplines, et que soient diffusés ces outils » (p. 36).

Avec l'annonce du prochain curriculum au secondaire, il est possible de croire que l'interdisciplinarité, que d'autres appellent à tort ou à raison « l'intégration de matières » (Roy, 1995) risque de provoquer un questionnement, principalement au niveau des programmes de *Science et technologie*. Dans ce nouveau programme de formation, le caractère interdisciplinaire des sciences devrait faire l'objet d'une attention spéciale où les savoirs antérieurs sont greffés, restructurés et résitués. Dès lors, il s'agit d'établir des liens entre des savoirs différents, un peu en conformité avec la vie courante qui, elle-même, fait constamment appel aux apprentissages à caractère interdisciplinaire. En ces temps modernes, la participation la plus élémentaire à toute activité scientifique exige une compétence en biologie, en physique, en chimie et en mathématiques. Il suffit de considérer les normes de spécialité comme la biophysique, la biochimie et la biostatistique pour constater les interactions importantes entre les sciences. La neurophysiologie exige de l'électricité, la physiologie musculaire se base sur les concepts de force, de tension et de production calorique alors que les gènes sont en réalité des molécules organiques.

1.3 Liens unissant les mathématiques et les sciences

Les deux champs disciplinaires étudiés dans cette recherche sont en l'occurrence, les mathématiques et les sciences physiques, a priori le domaine scientifique le plus susceptible de recourir aux mathématiques, pensons-nous. Comme le soulignent Trowbridge, Bybee et Powell (2000), *the alliance between science and mathematics has a long history, dating back many centuries. Science provides mathematics with interesting problems to investigate, and mathematics*

provides science with powerful tools to use in analysing data... Science and mathematics are both trying to discover general patterns and relationships, and in this sense they are part of the same endeavor... (p. 160-161). La prochaine section s'intéressera aux recherches portant sur la pertinence des liens possibles entre ces deux disciplines.

Enseignants et chercheurs ont traditionnellement essayé de vérifier les liens entre les cours de mathématiques et ceux de sciences (tableau 1.1). Dans une recension des écrits, Gabel et Bunce (1994) font état de diverses études traitant des relations possibles entre les deux domaines.

Tableau 1.1 : Études rapportant l'importance plus ou moins grande rattachée aux concepts mathématiques en sciences

Mathématiques	Sciences/technologie	Auteurs
géométrie (image mentale)	robotique (translation, rotation)	Audibert (1992)
langage mathématique transfert de procédures et d'habiletés	stoechiométrie physique modélisation	Dierks (1981) Bassok et Holyoak (1989)
fonctions exponentielles	(astronomie, biologie chimie)	Confrey (1994)
reconnaissance des relations	sc. générales	Maloney (1994)
moyenne, variation formalisme mathématique	biologie sc. physiques	Shayer et Adey (1981) Weil-Barais (1994)
liens non évidents		Goldman (1974)
liens non évidents		Chiappetta et McBride (1980)

À partir de ces recherches, il appert que certaines portions des mathématiques dont la géométrie par exemple, inculquent des images mentales utiles à la résolution de problèmes en sciences ou en technologie. À ce titre, la géométrie est proche des activités spontanées des élèves par les réalisations matérielles qu'elle suscite, par la résolution des problèmes qu'elle propose et par les démarches qu'elle nécessite. De plus, avec sa matérialité et ses démarches de pensée, la géométrie développe des aptitudes indispensables aux activités scientifiques et techniques. Son apprentissage introduit d'autres processus contribuant à la formation scientifique des élèves (Audibert, 1992), dont certaines notions nécessaires à l'étude des robots comme les rotations, les translations, les mouvements de rotation et de translation ainsi que les changements de repères orthonormés. Lorsque les élèves pratiquent avec intérêt la

géométrie, ils utilisent les démarches de pensée les plus riches et les plus fondamentales parmi celles qui sont nécessaires à la formation de l'esprit scientifique.

L'apport des mathématiques est également sollicité dans le domaine de la biologie humaine où les notions de variation, d'écart et de moyenne occupent une place importante (Confrey, 1994). D'expérience, nous avons pu constater que la biologie scolaire actuelle vise l'apprentissage par imitations ou par répétitions et n'utilise pas ou peu les mathématiques.

L'étude de Dierks (1981) met en relief l'importance des erreurs de calcul chez les élèves effectuant de la stoechiométrie : elles seraient attribuables aux incapacités de transposer un énoncé chimique dans un langage mathématique. Par ailleurs, les recherches de Goldman (1974) et de Chiappetta & McBride (1980) indiquent qu'un accent plus important au niveau des concepts mathématiques n'augmente pas la capacité de résolution de problèmes en physique. Il semble même que les efforts consacrés à la remédiation en mathématiques ne contribuent pas nécessairement au développement des habiletés indispensables au succès comme la maîtrise conceptuelle sait le faire lors de l'apprentissage initial (Gabel et Bunce, 1994).

Plus près de nous, le Conseil supérieur de l'éducation (1990) a reconnu également toute l'importance de la jonction entre apprentissages mathématiques et apprentissages scientifiques. Ainsi, beaucoup d'observations et d'expériences en sciences renvoient directement au calcul, aux formes géométriques, aux moyennes, aux proportions ou aux fractions. Plus récemment, le ministère de l'Éducation du Québec (2001a, 2003) propose un rapprochement entre les mathématiques, les sciences et la technologie en créant un seul domaine d'apprentissage. Cette

nouveauté témoigne de l'affinité et d'une juxtaposition essentielle des sciences et des mathématiques. D'ailleurs, les sciences et la technologie n'auraient pu se développer « sans l'apport de la mathématique et du langage qui lui est propre » (MEQ, 2001a, p. 122).

Par ailleurs, s'il existe beaucoup d'élèves en difficulté, particulièrement en mathématiques et en sciences, peut-être est-ce parce que ces disciplines présentent des difficultés singulières. Les mathématiques et les sciences physiques font largement appel à des symbolismes dont la fonction est de représenter le réel et de référer aux concepts (Cauzinille-Marmèche et Weil-Barais, 1989). À titre d'exemple :

Chemistry is widely perceived to be a difficult subject. [...] Other factors which make chemistry difficult include its specialized language, mathematical nature, the amount of material needed to learned (Johnstone, 1984) and its abstract conceptual nature (Carter et Brickhouse, 1989; Zoller, 1990). Lawson et Renner (1975) showed that the majority of science concepts at the high school and college levels are abstract. For example chemistry requires students to deal mentally with a variety of objects which cannot be directly perceived such as atoms, molecules and ions (Ward et Herron, 1980, dans Markow et Lonning, 1998).

Des études menées par Bassok et Holyoak (1989) ont, quant à elles, démontré que les élèves en sciences devraient être capables, dans leur cours de physique, d'effectuer le transfert de procédures qu'ils ont apprises et des habiletés qu'ils ont acquises pendant leurs cours de mathématiques. Les élèves habiles en mathématiques ont rarement de la difficulté avec l'aspect mathématique d'une question de physique. C'est plutôt au niveau de la reconnaissance des relations, qu'ils éprouvent des ennuis (Maloney, 1994). D'où l'importance des transferts, spécialement dans la résolution de problèmes, parce que seule la compréhension du

problème semble déclencher l'application de connaissances dans un contexte nouveau et différent (Maloney, 1994). Habituellement, les élèves ont de la difficulté à réaliser les transferts conceptuel et procédural d'une discipline scolaire à une autre. Par exemple, au début d'un cours de physique générale, les élèves étudient souvent la sommation des vecteurs comme s'il s'agissait d'un résumé de la procédure mathématique (Maloney, 1994).

Dans certains cas, les mathématiques servent de moyens de mesure et de langage dans le domaine des sciences. Très souvent, on leur accorde le statut d'outils pour les autres sciences (Johsua et Dupin, 1993). Pour bon nombre, cependant, elles sont d'abord et avant tout une extraordinaire discipline intellectuelle et culturelle en elle-même, mais qui peuvent aussi animer et soutenir la totalité des autres sciences et techniques entrant dans leur formation : génie, biologie, architecture, informatique, économie, statistique, physique, sciences humaines, médecine, nutrition, etc. (Pallascio, 1990).

Voilà pourquoi il nous apparaît important de justifier l'apport des mathématiques dans la construction, l'articulation, le développement et l'apprentissage des sciences. Si nous comparons la physique à la biologie, par exemple, force est d'admettre que les mathématiques ne jouent pas un rôle également fondamental dans toutes les disciplines. Les sciences de la nature utilisent les mathématiques comme un langage, mais ne s'y réduisent pas; il est donc difficile de les faire entrer entièrement dans un ligne mathématique. Pour Léna (1997), c'est le problème d'un enseignement trop formel de la physique : on fait de la physique mathématique, mais alors ce n'est plus de la physique. Que dire aussi de la biologie qui, elle, n'entre pas ou à peine dans la formulation mathématique et dont l'enseignement s'en trouve décalé.

Après réflexion et suite à cette élaboration de liens mathématiques et scientifiques, nous avançons l'idée que toute activité scientifique exige un minimum de compétences en mathématiques. Il suffit de considérer les normes de spécialités comme la biophysique, la biochimie et la physique électrique pour reconnaître les interactions importantes entre les mathématiques et les sciences. Pourquoi y accorde-t-on alors tant d'importance à l'école?

Parce que les mathématiques, dans notre société, servent à connaître une partie de ce qui est à la base de notre civilisation (remplir une piscine, réaliser une recette de cuisine, échanger de l'argent, pour ne nommer que cela). Elles jouent également un rôle dans le développement intellectuel d'un individu par l'amélioration de certaines habiletés intellectuelles telles l'abstraction, l'intuition et la rigueur (Kayler, 2000). Enfin, il faut mentionner que les mathématiques scolaires, au secondaire comme dans des niveaux supérieurs, servent le plus souvent de moyen de sélection, ce que présente la prochaine section.

1.4 Les mathématiques comme agent de sélection

Certaines difficultés (résolution de problèmes, contexte des problèmes, isolement d'une variable, par exemple) entourant l'apprentissage des mathématiques et des sciences étant reconnues, il importe maintenant de se questionner sur la valeur sociale accordée aux mathématiques scolaires. Selon Laborde et Vergnaud (1994), il y a probablement une part excessive attribuée aujourd'hui aux mathématiques dans l'éducation, notamment en France et au Québec où la réussite et la performance sont des critères de sélection et d'orientation.

Que ce soit au Québec ou ailleurs dans le monde, les mathématiques influencent le cheminement scolaire de l'individu. Dans nos écoles, les élèves ont accès à des cours de sciences de niveaux plus élevés s'ils ont suivi les cours de mathématiques équivalentes (dans le programme de quatrième secondaire Mathématiques 416 conduit à Sciences physiques 416, alors que Mathématiques 436 conduit à Sciences physiques 430). Cette idée est présente depuis plusieurs années notamment, chez Shayer et Adey (1981) pour qui, une amélioration des compétences en physique demande automatiquement une bonification de certaines habiletés mathématiques.

Considérées généralement comme étant une matière de base, les mathématiques sont malheureusement vues comme abstraites et vides de sens par plus d'un élève (Cauzinille-Marmèche et Weil-Barais, 1989). Dans de nombreux pays, elles orientent l'école; une des stratégies est de les utiliser comme un filtre critique (Garnier, 2000; Kahle et Meece, 1994; Kayler, 2000), comme un passeport (Pallascio, 1990) pour le futur. D'ailleurs, la réussite de cours de sciences et de mathématiques de niveau enrichi au secondaire est exigée pour l'admission dans de

nombreux programmes du niveau collégial (Garnier, 2000). Ainsi, certains élèves de cinquième secondaire s'inscrivent à des cours du profil enrichi de quatrième secondaire pour avoir accès à la carrière choisie.

L'exigence des mathématiques tant sur le plan conditionnel que cognitif contribue cependant à faire développer une forme d'anxiété aux élèves, qui considèrent cette discipline comme leur bête noire (Falcy, 1997; Lafortune, 1992; Lafortune, Mongeau et Pallascio, 2000). Quoi qu'il en soit, ce qui nous importe, ici, est de savoir si les mathématiques favorisent une meilleure compréhension des sciences, plus spécifiquement par le transfert d'acquis mathématiques en sciences.

1.5 État des connaissances sur l'importance du transfert dans l'apprentissage

Définir l'apprentissage n'est pas simple! La conception que l'on se fait de l'apprentissage varie selon les paradigmes qui nous influencent ou selon les théories qui supportent le concept. L'apprentissage est pour nous un processus de changement ou de développement de l'intelligence conceptuelle par lequel l'élève modifie progressivement ses connaissances ou ses représentations préalables, c'est-à-dire les fait évoluer pour les adapter à des contextes, à des situations ou à des problèmes nouveaux. Il s'agit d'un processus actif et continu de construction de significations (Ausubel, 1970; Brien, 1994; Giordan, 1998; Jonnaert, 2002b).

L'individu peut cependant apprendre sans nécessairement comprendre ou intégrer le contenu. Il en découle une différence quant aux habiletés et aux connaissances exigées pour apprendre « en surface » (St-Jean, 1994) ou comprendre vraiment, c'est-à-dire intégrer. Ainsi, nous pouvons dire que l'apprentissage pur et

simple (apprendre par cœur, par exemple) nécessite des habiletés et des connaissances de surface alors que la compréhension exige davantage de profondeur. Pour nous, le transfert serait un indice, une certaine manifestation de l'apprentissage en profondeur ce qui selon D'Hainaut (1991) correspond à « une intégration des apprentissages ». L'intégration est en fait le processus par lequel un élève greffe un nouveau savoir à ses savoirs antérieurs, restructure en conséquence son univers intérieur et applique les savoirs acquis à de nouvelles situations concrètes (Garnier, 1999).

Le type d'apprentissage effectué influence les capacités de transfert chez l'individu. Apprendre à repérer les caractéristiques d'une situation pour choisir les procédures efficaces, en autant que celles-ci ne soient pas spontanées, c'est se donner les moyens d'apprendre dans d'autres situations, de résoudre des problèmes du même ordre, en conséquence de pouvoir transférer! Encore là, rien n'empêche de revenir sur les acquis déjà intégrés d'une façon ou de l'autre afin de les vérifier ou de les stabiliser. C'est ainsi qu'une stratégie peut devenir à la fois un outil cognitif et le vecteur d'un transfert de connaissances à d'autres situations que celle dans laquelle elle a été apprise (Fogarty, Perkins et Barell, 1992).

La théorie psycho-cognitive du traitement de l'information a mis en lumière certaines conditions qui favorisent un apprentissage en profondeur et significatif. Conséquemment, le transfert des connaissances est facilité quand il est possible pour l'élève (1) d'utiliser ses connaissances antérieures, (2) d'élaborer, c'est-à-dire de travailler sur ses connaissances pour les intégrer plutôt que de les mémoriser telles qu'elles ont été transmises et (3) de vivre des apprentissages en contexte réel (situations de la vie quotidienne) ou qui ressemblent à sa vie professionnelle future (St-Jean, 1994).

Pour Jonnaert et Vander Borght (1999), et pour Kaniel (2001), le transfert serait une composante importante, voire essentielle de l'apprentissage. D'autres chercheurs (Butterfield, Slocum et Nelson, 1993 ; cités par Kaniel, 2001) considèrent même qu'on ne peut distinguer entre le transfert et l'apprentissage.

Faire du transfert des apprentissages l'enjeu de toute situation d'apprentissage exige des transformations importantes tant sur le plan des pratiques pédagogiques et évaluatives que sur celui de l'organisation du travail (Morissette, 2002). Voilà un défi de taille, mais véritablement intéressant pour la recherche.

1.6 Cadre de référence de la recherche

L'interprétation du processus de transfert variant d'un domaine d'études à l'autre, nous devons donc faire appel à plusieurs théories pour bien cerner la problématique à l'étude. Selon Marini et Généreux (1995), il existerait trois grands courants de recherche pour le transfert. Le premier s'inspire de la théorie de Thorndike datant du début du siècle et vise à identifier des caractéristiques des tâches. L'importance est ici mise sur la caractérisation des situations sources afin de vérifier leur influence sur une situation cible. C'est ce que Thorndike a appelé sa « théorie des éléments communs ». Le second courant prend en considération le contexte à l'intérieur duquel s'opère le transfert. On tente d'évaluer les apports de l'environnement social. À ce titre, Presseau (1998) propose la résolution de problèmes mathématiques en dyade. Enfin, le troisième courant s'inspire plus particulièrement de la psychologie cognitive et du traitement de l'information. Ce courant cherche surtout à identifier des caractéristiques propres aux apprenants.

Dans notre étude, la problématique du transfert est abordée selon cette dernière perspective, plutôt cognitiviste. Plus spécifiquement, le concept est étudié sous l'angle des théories psycho-cognitives et ce, même si le facteur socio-cognitif peut exercer une influence. En effet, selon Tardif (1997), les interactions sociales avec les pairs dans une situation d'apprentissage faciliteraient l'approfondissement et le transfert des connaissances. Certains iront jusqu'à dire que la qualité de transfert varie en fonction de la capacité (ou de l'intention), du désir d'apprendre, c'est-à-dire de la motivation (Prawat, 1989; Rey, 1996) de l'individu ainsi que de la nature de ses expériences antérieures (Hamon, 1989; Magill, 1980). Le niveau de connaissance et la motivation seraient ainsi des variables ou dimensions importantes dans l'explication du transfert (Mathews, 1986; Prawat, 1989; Salomon et Globerson, 1987). Tout comme la motivation peut être un facteur important de la métacognition (Paris et Winograd, 1990; Tardif, 1997), elle permet également de déclencher la recherche des informations en mémoire et de tisser des liens avec les connaissances nouvelles.

Notre recherche s'alimente principalement de travaux en psychologie cognitive (Cauzinille-Marmèche, 1991; Ghiglione et Richard, 1995; Harvey et Anderson, 1993; Julo, 1995; Mendelsohn, 1990; 1994; Tardif, 1997; 1999) et en didactique des mathématiques et des sciences (Chastrette, 1989; Durand-Primborgne, 1992; Filloux, 1989; Lemoyne et Conne, 1999; Moffet, 1995; Toupin, 1993; 1995). La capacité à transférer provient probablement davantage d'un travail de réflexion à partir d'une expertise très contextualisée que d'un apprentissage de méthodes très générales de résolution de problèmes (Le Boterf, 2001). Les méthodes générales de RDP et d'organisation de la pensée apprises sur un ensemble de problèmes ne se transfèrent pas ou très peu à d'autres problèmes (Le Boterf, 2001). Si plusieurs approches ont été et sont encore développées pour favoriser le transfert à partir de

stratégies générales, notre conception de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences, de même que notre compréhension du concept de transfert jumelée au cadre de référence nous conduisent plutôt du côté des stratégies spécifiques et de la didactique. Pour d'autres, l'enseignement de stratégies spécifiques de résolution de problèmes est une orientation qui rend le plus probable le transfert des apprentissages (Bransford, Sherwood, Vye et Rieser, 1986; Glaser, 1984 et Resnick, 1987 ; cités par Tardif, 1997). Ces études se basent notamment sur des recherches qui démontrent la très grande importance de la base de connaissances spécifiques de la personne dans une situation de résolution de problèmes.

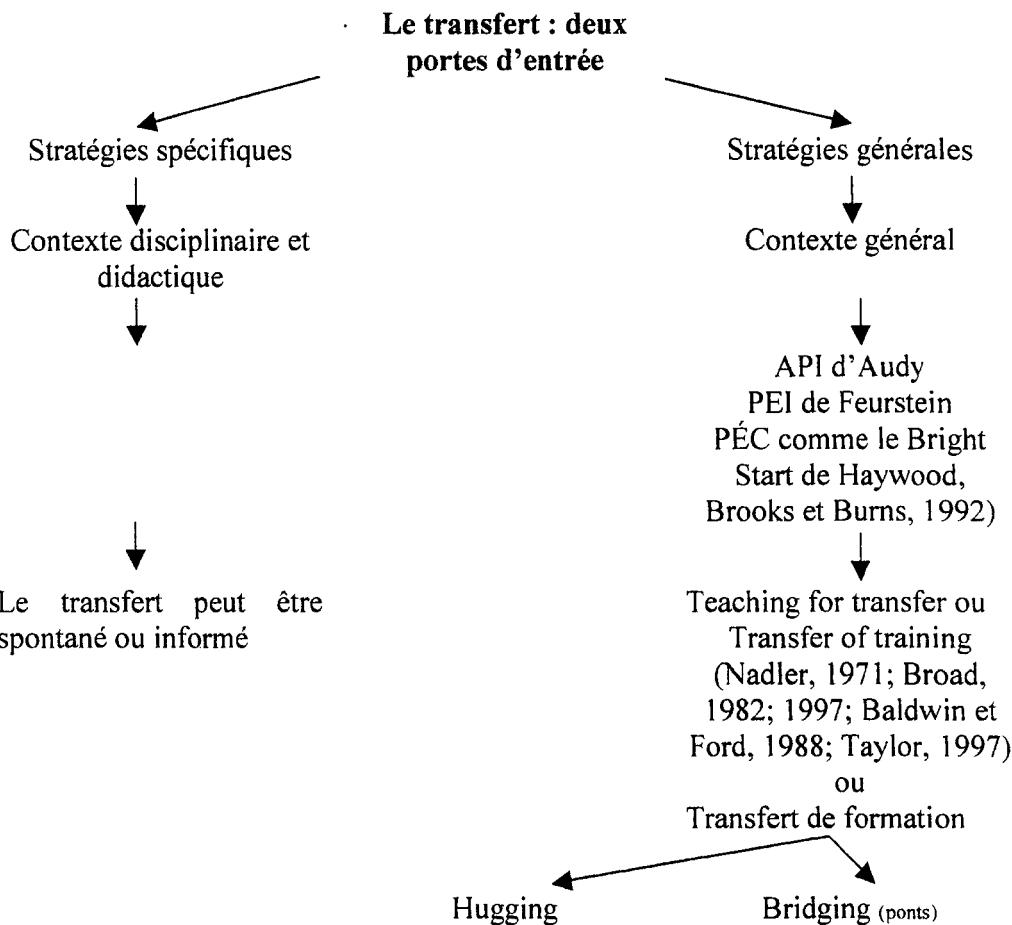


Figure 1.2 : Deux types de stratégies favorisant le transfert à divers degrés

Depuis le début des années 1990, le transfert a fait l'objet de nombreuses publications traitant de formules pédagogiques à utiliser en classe pour le favoriser. Parmi celles-ci, plusieurs font appel au transfert ou à des sous-processus découlant de ce dernier. Citons au passage quelques approches telles l'enseignement stratégique (Ouellet 1997; Tardif, 1997), la programmation neurolinguistique ou PNL, la gestion mentale (Aubin, Horth, Lévesque et Tousignant, 1996), le programme d'enrichissement instrumental ou PEI dans le cadre de la gestion mentale (Moal,

1996); la démarche d'intégration des acquis par le projet et par la résolution de problèmes (RDP) (Cliche, Lamarche, Lizotte et Tremblay, 1997), la pédagogie des compétences (Perrenoud, 1997a), les méthodes d'éducabilité cognitive dont les plus connues sont des ateliers de raisonnement logique ou ARL d'Higelé et le programme d'enrichissement individuel de Feurstein (Astolfi et Laurent, 1992) et l'apprentissage par problèmes (APP) rapporté par St-Jean (1994).

Dans une perspective de transfert des connaissances, ces programmes prônant l'enseignement de stratégies générales reposent sur l'hypothèse selon laquelle une fois les stratégies en question maîtrisées en dehors d'un domaine particulier de connaissances, elles se transféreront à l'ensemble des situations d'apprentissage scolaire (Tardif et Meirieu, 1999).

1.6.1 Stratégies générales

Du côté américain, on trouve notamment deux programmes privilégiant l'utilisation de stratégies générales : le *Teaching for Transfer* (Fogarty *et al.*, 1992; Perkins et Salomon, 1988) et le *Teaching of Thinking* (Nickerson, Perkins et Smith, 1985). Le but principal est de favoriser le transfert (transfert informé, par exemple) à partir d'une méthode soutenue par l'enseignant. Malheureusement, il semble que ces programmes d'enseignement axé sur l'utilisation du transfert ont connu un succès mitigé (Cèbe, 2001; 2002; Royer, 1979; Toupin, 1993). Les connaissances apprises hors contexte ont tendance à demeurer inertes après un certain temps (Désilets et Tardif, Désilets, Paradis et Lachiver, 1995; Maingain, Dufour et Fourez, 2002).

Au Québec comme en Europe, les nombreuses réformes scolaires et la promotion d'une approche par compétences favorisent la production de documents pédagogiques traitant du transfert. Chez nous, les plus récents étant ceux de Morissette (2002) et de Sousa (2002) alors qu'en France, un numéro spécial des Cahiers pédagogiques y a été consacré en novembre 2002. Malheureusement, plusieurs de ces écrits réfèrent à des stratégies générales, donc peu contextualisées.

On assiste aujourd'hui à une remise en question d'un courant de la pédagogie qui tend vers un enseignement le plus généraliste et multidisciplinaire possible. Ce courant a prétendu et prétend parfois encore installer des compétences générales en amont de tout contenu ou en dehors de tout contexte disciplinaire spécifique, de façon à en assurer le plus grande généralité possible. Il s'agit, entre autres, de l'Enrichissement Instrumental de Feurstein (Feurstein, Rand, Hoffman et Miller, 1980), de l'Actualisation du Potentiel Individuel de Audy et de la Programmation Neuro-Linguistique ou la Gestion Mentale de Antoine de la Garanderie (Maingain *et al.*, 2002).

Bien que les propositions d'éducation cognitive soient nombreuses et diverses; face à l'éventail d'objectifs et de méthodes, le choix des acquisitions visées et des moyens pour y parvenir demeure difficile. La faiblesse des effets de généralisation des pratiques ou des stratégies générales d'éducation cognitive, dont le PEI , nous oblige à remettre en question la pertinence de certaines de ces pratiques utilisées jusqu'ici (Maingain *et al.*, 2002; Perkins et Salomon, 1989). Bransford, Vye, Kinser et Risko (1990) rejettent catégoriquement les programmes axés sur l'apprentissage de stratégies générales sans lien avec un domaine de connaissance. Ils privilégient plutôt les démarches qui mettent l'accent sur un savoir particulier (Tardif et Meirieu, 1999). Huteau, Lautrey, Chartier et Loarer (1994) abondent dans

le même sens que Bransford et ses collègues (1990) en concluant qu'il n'existe pas de stratégies générales susceptibles d'être mises en application, quel que soit le contenu (Tardif et Meirieu, 1999).

Toutefois, le Programme d'éducation cognitive pour Jeunes Enfants (PECJE) *Bright Start* (Chatelanat et Haywood, 1995 ; Haywood *et al.*, 1992) pourrait constituer, à notre point de vue, une alternative intéressante pour mettre en œuvre, dès l'école maternelle, certains principes psychopédagogiques pouvant favoriser le transfert. En bas âge, parce que les enfants ont des connaissances limitées dans des domaines divers, le recours à des stratégies générales peut s'avérer un bon moyen d'initiation au transfert. Cette façon de faire aiderait le jeune enfant à découvrir la multitude de situations d'application et à développer des attitudes au transfert.

Par ailleurs, un second courant propose plutôt l'acquisition d'une base de stratégies relatives à des connaissances particulières chez les élèves et, en concomitance, de travailler à leur transfert de sorte qu'elles soient recontextualisables dans divers domaines de connaissance. Ce sont les stratégies spécifiques.

1.6.2 Stratégies spécifiques

L'enseignement réciproque, l'enseignement stratégique, la pédagogie par projet sont des exemples du second courant qui privilégie l'apprentissage de stratégies relatives à des connaissances particulières (Tardif et Meirieu, 1999).

Pour nous, comme pour plusieurs (Tardif, 1997 ; 1999), les connaissances et les compétences s'acquièrent et se développent dans un contexte précis, souvent lié à une discipline. Leur transfert vers des contextes distincts des situations d'acquisition voire même au-delà des frontières disciplinaires est désormais au centre des préoccupations de la plupart des curriculums de formation. Une pédagogie visant l'intégration des apprentissages dans le traitement des situations nouvelles exige une mobilisation transversale des connaissances construites et des compétences développées. Le concept pédagogique de compétence, sur lequel nous reviendrons, porte sur le « caractère durable et transférable de l'apprentissage » (CSÉ, 2003, p. 14; Maingain *et al.*, 2002, p. 167).

En somme, peu de recherches ont été effectuées sur le processus même du transfert, si ce n'est l'étude de Genthon (1982) en évaluation, celle de Hamon (1989) ou Lemieux (1992) sur des activités sportives ou de relaxation et, plus récemment, celles de Bracke (1998), de Brouillette (2002) et de Presseau (1998). À notre connaissance, un nombre restreint de chercheurs se sont intéressés à la problématique soulevée, mis à part l'étude de Bassok et Holyoak (1989) dont les travaux sont centrés sur l'analyse des transferts inter-domaines. Il s'agissait pour eux d'étudier le transfert d'une loi acquise dans le domaine de l'algèbre (loi de progression arithmétique), mais applicable à la résolution de problèmes de physique, et, réciproquement, le transfert d'une loi acquise dans le domaine de la physique (loi de l'accélération constante) pour la résolution de problèmes d'algèbre. Les résultats ont par ailleurs montré que le transfert est tout à fait asymétrique : il est très important quand il va de l'algèbre (exemplification) vers la physique, mais très faible (abstraction) dans l'autre sens (Cauzinille-Marmèche, 1991).

Outre les récents écrits théoriques et conceptuels de Tardif (1999), notre recension nous indique un intérêt manifeste dans divers domaines reliés de près ou de loin au monde scolaire dans le but d'éclaircir les fonctions du transfert, notamment dans les sports (Hamon, 1989; Lemieux, 1992; Pilon, 1993), en informatique (Harvey et Anderson, 1993), en écriture (Aubin *et al.*, 1996; Moffet, 1995), dans l'apprentissage des langues (Grégoire, 1996; Lefrançois, 2001) et en dessin technique (Husson-Charlet, 1989). Au Québec, la seule publication que nous ayons recensée sur des possibilités de « transfert mathématiques-sciences » remonte à 1996 et porte sur une réflexion d'enseignants au collégial. En voici un extrait :

« [...] pour résoudre un problème de physique faisant appel à l'utilisation du calcul différentiel appris dans un cours de mathématiques, les élèves doivent évidemment maîtriser les connaissances qui leur permettent de comprendre de quoi il est question dans le problème de physique, mais il faut aussi qu'ils soient à même de se demander pourquoi ils feraient appel pour résoudre ce problème à telle notion ou à telle procédure apprise dans le cours de mathématiques. Et pour cela, il ne suffit hélas pas que les professeurs de mathématiques leur aient dit et répété que le cours de mathématiques 103 leur servirait continuellement en physique [...] (Forcier et Goulet, 1996 p. 32) ».

Partant de l'idée que le transfert est inhérent à l'activité cognitive chez l'individu désireux d'arriver à un apprentissage significatif et intégré, il est indispensable de pouvoir en vérifier les manifestations. Par son caractère abstrait, le transfert pose une sérieuse difficulté au chercheur qui se propose de le comprendre, de l'évaluer et de le mesurer dans la praxis. Pour rendre le transfert opérationnel, nous avons décidé, à partir de la littérature consultée, d'élaborer une synthèse des divers types de transfert. À cette fin, des composantes cognitives appelées « indicateurs » ont été identifiées comme étant source de transfert et pouvant se manifester chez l'apprenant. Pour ce faire, nous nous sommes inspiré des études réalisées dans le domaine de la psychologie cognitive et de la didactique. Les

nombreuses recherches publiées sur la novicité et l'expertise ont également contribué au choix de nos indicateurs explicités au chapitre suivant.

1.7 Objectifs de la recherche

L'objectif de la présente recherche exploratoire est de mieux comprendre le processus du transfert chez des élèves du secondaire. Plus spécifiquement, il s'agit de tenter d'identifier et de valider des indicateurs de la capacité de transfert des mathématiques vers les sciences. Nous privilégions cette orientation, car selon Bassok et Holyoak (1989), le transfert s'effectue plus facilement des mathématiques vers les sciences plutôt qu'inversement, les mathématiques étant un langage, un outil dans l'apprentissage des sciences. Cette recherche a également pour objectif de comprendre ce qui différencie les élèves considérés comme étant « de bons et de moins bons transféreurs » lors d'une résolution de problèmes. Enfin, nous voulons dégager des profils individuels en matière de transfert.

1.8 Limites de la recherche

Le transfert est bien présent dans de nombreux propos actuels sur l'apprentissage et les finalités de l'école. Certains, dont Jonnaert, (2002a et c) déplorent l'absence d'une définition claire, s'interrogent sur l'origine ancienne du concept et questionnent la rareté des résultats de recherche. De plus, le nombre restreint de recherches validées limite certaines prises de décision tant sur le plan théorique et conceptuel, que méthodologique.

Jonnaert (2002a) ajoute également que la notion fait l'objet d'un paradoxe pluriparadigmatique puisque le transfert est utilisé dans les programmes d'études dont les assises sont tantôt axées sur un mode behavioriste, tantôt sur un mode constructiviste.

Divers acteurs constatent que le transfert reste très mal défini dans la littérature scientifique contemporaine et qu'à travers les résultats de recherche en psychologie cognitive qui tentent de le clarifier, il est associé « à un phénomène marginal, voire très rare » (Jonnaert, 2002a, p. 13). D'autres, cependant, comme Raynal et Rieunier (1997) considèrent le transfert comme le phénomène le plus important et le plus mal connu du processus d'apprentissage.

Par conséquent, notre motivation à conduire une recherche sur le transfert est renforcée par notre conviction de pouvoir nous attaquer « aux sources de l'échec scolaire », comme l'énonce Perrenoud (2000) : « En travaillant à favoriser le transfert de connaissances » (p. 53).

Dans le contexte actuel, le transfert constitue un enjeu majeur de toute situation d'apprentissage. Le phénomène suscite donc un intérêt particulier, mais il demande des investissements importants. Toute intervention judicieuse sur la question du transfert des apprentissages exige, en effet, la connaissance et la reconnaissance préalables des principaux éléments qui en constituent la problématique (Morissette, 2002).

L'existence de phénomènes de transfert lors de la résolution successive de plusieurs problèmes est fort bien documentée mais les processus cognitifs qui sont à la base de ces phénomènes restent, quant à eux, difficiles à appréhender (Julo, 1995).

CHAPITRE II

LE CADRE CONCEPTUEL

Le transfert est l'un des concepts fondamentaux les plus importants dans le processus d'apprentissage. Il se définit opérationnellement comme la capacité ou l'habileté à mobiliser un apprentissage dans une autre situation (Gagné, 1985; Tardif, 1997; 1999). La plupart des théories de l'apprentissage traite du transfert selon diverses conceptions. Les théories behavioristes (Thorndike, Hull ou Guthrie) y font référence en parlant de stimuli-réponse, de généralisation ou d'interférence. Les théories cognitives (Ausubel, Bruner, Rumelhart et Norman) tendent à discuter du transfert en termes de restructuration de la connaissance et du concept des modèles mentaux. Les théories de l'éducation des adultes (Cross, Knowles et Rogers) approchent le transfert dans un contexte de partage d'expériences. Enfin, les théories sociales (Bandura, Vygotsky) considèrent le transfert à travers les modelages ou l'imitation.

Nous avons examiné la problématique de l'apprentissage des sciences et des difficultés rencontrées sous l'angle du « transfert de connaissances mathématiques-sciences ». Peu importe l'appellation utilisée soit « transfert des connaissances » (Arénilla, Gossot, Rolland et Roussel, 1996; CSÉ, 1998; Husson-Charlet, 1989; Legendre-Bergeron, 1995; Mendelsohn, 1994; Moffet, 1995; Mongrain et Besançon, 1995; Ouellet, 1997; Perrenoud, 1997b; Presseau, 1998 ; Raynal et Rieunier, 1997; St-Jean, 1994; Toupin, 1993; 1995; Turcotte, 1984), « transfert cognitif des connaissances » (Jaccard, Husson-Charlet et Rossi, 1995), « transfert des connaissances et des compétences » (Tardif, 1999), « transfert des apprentissages » (Arénilla *et al.*, 1996; Astolfi et Laurent, 1992; Brouillette, 2002; Danvers, 1994;

Forcier et Goulet, 1996; Laliberté, 1995a; Loarer, Chartier, Huteau et Lautrèy, 1995; Mendelsohn, 1990; Moal, 1996; Provost, 1994; Raynal et Rieunier, 1997; Turcotte, 1984), « transfert des acquis » (Cliche *et al.*, 1997; Moal, 1996), « transfert d'acquisitions scolaires » (Genthon, 1982), « transfert de compétences » (Durand-Primborgne, 1992; Husson-Charlet, 1989; Legendre-Bergeron, 1995), « transfert des savoirs » (CSÉ, 1991) ou « transfert de capacités » (Husson-Charlet, 1989), la problématique de la réutilisation d'acquis, au sens large, demeure toujours présente.

Le problème de recherche ayant été circonscrit au chapitre précédent, il apparaît nécessaire d'examiner les écrits susceptibles de concourir à la compréhension du transfert comme processus aidant à l'apprentissage en profondeur, c'est-à-dire significatif. Notre conception du transfert des connaissances s'inscrit dans le prolongement de l'apprentissage : il est nécessaire pour l'individu d'utiliser un « déjà-là » afin de le réactiver ultérieurement. C'est à travers une approche psychocognitiviste et didactique de l'apprentissage humain que se construit le cadre de cette recherche et que les balises conceptuelles du « transfert » s'établissent. D'emblée, l'ambiguïté du concept de transfert et la diversité des conceptions qu'il véhicule sont soulevées. Sa précision conceptuelle et notre positionnement théorique sont donc essentiels, puisque le caractère ubiquiste souvent conféré au concept a fait l'objet, par le passé, de certaines critiques de la part de la communauté scientifique (Jonnaert, 2002a et c; Mendelsohn, 1994; Rey, 1996).

Pour les besoins de la recherche, la notion de « transfert de connaissances » a donc été retenue et impliquera les trois types de connaissances (déclarative, procédurale et conditionnelle) tels que définis par un certain nombre de chercheurs (Harvey et Anderson, 1993; Rey, 1996; Tardif et Meirieu, 1996; Tardif, 1997). Elle demeure générale, unificatrice et cible bien l'objet même de la recherche.

Le terme de « transfert » est principalement utilisé dans deux domaines qui se veulent différents : la psychologie des apprentissages et la psychanalyse. Il possède ainsi deux acceptations, même si le substrat conceptuel est le même : *le passage et l'utilisation d'une dynamique affective ou intellectuelle, d'une situation à une autre* (Arénilla *et al.*, 1996). Spécifiquement, le transfert est employé en psychanalyse dans une relation d'aide de personne à personne. En psychologie des apprentissages, le transfert s'intéresse plutôt à la mise en place d'outils permettant la réutilisation de certaines notions déjà vues.

Depuis le début des années 1980, l'avancement des connaissances à l'égard du style de formation favorisant le transfert provient principalement de l'adaptation des connaissances en psychologie cognitive spécialement au chapitre du processus de cheminement de pensée des apprenants (Brooks et Dansereau, 1988; Campbell, 1988; Cormier, 1984; Gick et Holyoak, 1987). La psychologie cognitive, contrairement à l'approche adoptée par le *behavior modeling* permet d'apporter une meilleure compréhension du processus cognitif favorisant le transfert lorsqu'il est question des programmes de formation dont les attitudes et les habiletés à développer sont de natures complexes. Ainsi, les études sur les pratiques de formation mettent en relief une absence de prolongement des apprentissages dans le milieu de travail, une régression des acquis ou même un retour aux anciennes façons de faire. Ces problèmes de mise en application préoccupent fortement les entreprises (Baldwin et Ford, 1988; Girard, 1994; Lafrenière, 1999) dans le *transfer of training*.

Taylor (1997) décrit le transfert dans le milieu de travail comme étant un transfert de formation, qui ne serait que le prolongement du processus

d'apprentissage. Dans le milieu de travail, il y a transfert d'apprentissage quand le stagiaire ou le travailleur réussit à appliquer dans son travail les connaissances qu'il a acquises et les compétences qu'il a développées en participant à un programme éducatif.

Plusieurs conceptions du transfert nous renvoient ainsi à différentes dimensions :

- la notion d'application (type processus-produit);
- l'opération complexe qui consiste à utiliser dans un nouveau contexte (structures similaires ou proches), des connaissances, des habiletés intellectuelles et des compétences acquises antérieurement et intégrées (Jaccard *et al.*, 1995);
- l'évaluation de l'intégration des apprentissages (Garnier, 1999);
- et d'autres.

Afin de bien délimiter le champ du transfert dans cette recherche, il importe de préciser qu'il ne s'agit pas :

- de transfert psychanalytique (transfert et contre-transfert);
- ni de transfert entre des individus (élèves-élèves ou enseignant-élèves);
- ni de transfert de compétences entre institutions ou entreprises;
- ni de transfert d'informations par une technologie donnée;
- ni de transfert dans le milieu du travail.

2.1 Le transfert comme sous-processus de l'apprentissage : quelques définitions

Le transfert est une notion importante en éducation. Avec lui, en effet, l'école s'assure que l'individu pourra transférer ce qu'il a appris d'une année scolaire à l'autre ou d'une discipline à l'autre et de là, vers sa vie sociale (Hamon, 1989). Quels que soient ses intérêts ou ses besoins, l'individu, tôt ou tard devra réaliser des transferts.

Jusqu'à maintenant, la notion de transfert a été abordée selon diverses perspectives. Nous l'examinons maintenant sur le plan cognitif et plus spécifiquement en tant que composante de l'apprentissage.

Une recension de la littérature conduit à différentes définitions du transfert. On trouvera ci-après la liste que nous avons dressée des définitions de ce concept. Dans bien des cas, elles se ressemblent, faisant référence à l'idée de transformations, de réorganisation, et de mouvement de connaissances ou de savoirs.

À partir de l'expression anglo-saxonne *transfer* et du terme français *transfert* (tous d'origine latine), on désigne deux aspects différents de l'activité psychologique qui intéressent l'éducateur (Laeng, 1974). Le premier sens concerne la possibilité d'étendre l'habileté acquise dans une prestation donnée (par exemple, la résolution de problèmes d'algèbre) à d'autres prestations semblables (par exemple, la résolution de problèmes de physique). Quant au second, on dit qu'il y a transfert quand « les progrès obtenus au cours de l'apprentissage d'une certaine forme d'activité entraînent une amélioration dans l'exercice d'une activité différente, plus ou moins voisine » (Bresson et Piéron, 1973, cité dans Astolfi et Laurent, 1992). Cette définition nous apparaît quelque peu simpliste, car le transfert peut aussi influencer l'apprentissage de

façon négative. À titre d'exemple, nous pouvons penser à un individu qui se consacre à l'étude de deux langues voisines et qui pourrait intervertir les vocabulaires (Lefrançois, 2001). Ou encore, une personne travaillant avec deux versions d'un même logiciel informatique pourrait exécuter des commandes non valides dans une version plutôt que dans l'autre.

Certaines définitions teintées de bélaviorisme ne reconnaissent toutefois qu'un seul aspect du transfert : la similitude entre les tâches. Ainsi, pour Astolfi et Laurent (1992), le transfert consiste à « utiliser les résultats d'un apprentissage dans une situation nouvelle lorsque cela nécessite la reconnaissance d'une structure commune aux deux situations ». Après avoir proposé différentes classifications, des auteurs (Butterfield et Nelson, 1991; Prawat, 1989; Singley et Anderson, 1989) concluent que *la théorie des éléments communs* de Thorndike élaborée au début des années 1900 demeure la meilleure explication du transfert. Pour Thorndike, la similitude entre deux situations (source et cible) devient une condition facilitante, voire même essentielle au transfert.

D'autres auteurs (Mendelsohn, 1996; Perrenoud, 1998; 2000; Tardif, 1999) considèrent le transfert comme un phénomène qui se produit lorsqu'une « connaissance acquise dans un contexte particulier peut être reprise d'une façon judicieuse et fonctionnelle dans un nouveau contexte, lorsqu'elle peut être recontextualisée » (Cliche *et al.*, 1997; Tardif et Meirieu, 1996). Pour d'autres, dont Legendre (1993), Danvers (1994), Charette et Monette (cité dans Forcier et Goulet, 1996), et Raynal et Rieunier (1997), le transfert en éducation peut se définir comme l'utilisation, dans un contexte ou situation particulière, d'habiletés acquises dans un autre contexte ou situation. Dans les recherches en cours, le transfert est plus qu'une

simple utilisation et dépasse l'ordre de l'application; l'apprenant doit maîtriser ses savoirs et en faire une utilisation rationnelle.

Certains auteurs dont Perrenoud (2000) définissent alors le transfert comme l'effet des connaissances acquises sur l'acquisition de nouvelles connaissances tandis que d'autres (Julo 1995; Richard, Bonnet et Ghiglione, 1990) le conçoivent comme la réalisation d'une tâche résultant d'une performance précédente. À cet effet, Prawat (1989) distingue deux approches à l'étude du transfert : une statique, une dynamique. L'approche statique se concentre sur l'acquisition des connaissances nécessaires avant d'exécuter quelque chose. L'approche dynamique observe plutôt le processus de réalisation du transfert et juge important d'avoir exécuté auparavant une tâche semblable (Moffet et Demalsy, 1994).

Pour Grisé et Trottier (1997), le transfert est plutôt l'utilisation des nouvelles acquisitions dans des situations d'apprentissage où le niveau de complexité est accru. Comme nous considérons qu'il est possible de transférer dans des situations moins complexes, cette définition ne sera pas retenue ici. Il peut aussi être dit que : « Dans tous les cas où une activité modifie d'une façon quelconque par facilitation ou par interférence celle qui la suit, on dit qu'il y a transfert » (Oléron, 1968, cité dans Genthon, 1982). Cette définition est particulièrement intéressante, car elle dénote l'aspect facilitant (positif) ou inhibiteur (négatif) du transfert.

Ces quelques définitions déterminent bien souvent, que l'apprentissage d'une activité est facilitée par l'apprentissage antérieur d'une activité fort différente, ou encore qu'il s'agit de l'attribution d'un savoir dans un contexte tout autre que celui dans lequel il a été acquis. La plupart de ces définitions ont en commun l'idée du

passage d'un état et d'un contexte à un autre état ou contexte, à la condition que les paramètres suivants soient respectés :

- chercher la similitude entre un problème résolu et le problème à résoudre;
- miser sur la similitude des données structurelles des deux problèmes plutôt que sur leurs données superficielles;
- bien maîtriser les connaissances et les stratégies de résolution de problèmes en cause et savoir en quoi ces dernières ont été efficaces;
- connaître, du moins en partie, le nouveau domaine vers lequel peut être projeté le contenu de ce qui est déjà appris et su;
- justifier la projection en établissant les liens qui ont pu servir dans cette transposition vers le nouveau domaine.

Comme nous cherchons à contextualiser la définition du transfert à notre recherche et, du même coup, par rapport au domaine des mathématiques et des sciences, nous établissons que **le transfert vise à mobiliser les acquis antérieurs (à partir de trois types de connaissances) provenant des mathématiques et à les réutiliser de façon fonctionnelle et judicieuse dans un problème en sciences**. Cette décontextualisation accompagnée d'une recontextualisation des connaissances (Tardif, 1999) devraient favoriser ainsi la récupération et l'actualisation des acquis mathématiques dans le but de résoudre un problème scientifique. Évidemment, cela suppose que l'apprenant n'a pas de difficulté à reconnaître et à trouver une signification au problème scientifique en soi.

Le concept de transfert de connaissances, plus spécifiquement celui des mathématiques vers les sciences, n'est pourtant pas clairement défini dans la

littérature. Nombreux sont les signes¹ qui permettent de croire qu'il s'agit bien du transfert ; toutefois, une zone grise persiste ce qui oblige à porter une attention particulière aux diverses définitions et aux catégories multiples employées.

Le Boterf (1998) propose la métaphore de « la mobilisation » qui semble aujourd’hui plus juste, plus générale, plus dynamique et plus respectueuse du rôle actif du sujet et de ses intentions que celle de la métaphore du transfert, qui suggère un déplacement (à la manière dont on parle de fonds ou de technologie) plutôt qu'un usage. Ainsi, il est possible de transférer un employé, un capital ou une base de données, mais on s'approprie une connaissance et on la mobilise. Quoi qu'il en soit, l'ensemble des définitions semble révéler la bipolarité du transfert, c'est-à-dire l'idée d'une transition d'un état et contexte à un autre état ou contexte. La taxonomie présentée ci-dessous témoigne bien de cette dualité.

2.1.1 Taxonomie du transfert

De nos jours, le transfert fait l'objet de travaux de recherche en psychologie cognitive (Cauzinille-Marmèche, 1991; Ghiglionne et Richard, 1995; Harvey et Anderson, 1993; Mendelsohn, 1990; 1994) et en éducation (Bracke, 1998; Brouillette, 2002; Presseau, 1998). S'ajoutent à ces recherches, de nombreux écrits théoriques et conceptuels en pédagogie ou en didactique (Chastrette, 1989; Durand-Primborgne, 1992; Filloux, 1989; Lemoyne et Conne, 1999; Moffet, 1995; Morissette, 2002; Nadeau, 1995; Provost, 1994; Sousa, 2002; Tardif, 1999; Toupin,

¹ Favoriser chez l'élève l'accroissement de l'habileté à établir des liens entre les connaissances qu'il ou qu'elle construit et ses autres connaissances tant en mathématique que dans les autres disciplines, et l'amener à considérer ses connaissances comme un outil dans la vie de tous les jours. (Tiré du Programme d'études mathématique 314, enseignement secondaire. MEQ, 1995 p. 22.)

1993; 1995). En psychologie cognitive, les chercheurs tentent de découvrir et de comprendre comment cela se passe dans la structure mentale de l'apprenant. Sont explicités les fondements affectifs, cognitifs, métacognitifs et sociaux des processus d'apprentissage. Giordan (1998), faisant référence aux quatre fondements énumérés plus haut, parle d'une quadruple dimension de l'apprentissage. Dans le second cas, des principes, des modèles et des stratégies pédagogiques sont proposées pour que l'élève devienne le principal acteur de la construction de son savoir. Le transfert est reconnu comme tel aujourd'hui par la communauté scientifique, au sens de l'intégration des connaissances. Ce concept a été et continue d'être l'objet de nombreux écrits. Les différents auteurs, dont Fogarty et ses coauteurs (1992) ainsi que Toupin (1995) ont tenté d'élaborer une taxonomie à partir de l'application ou de la manifestation du transfert même. Pour tenter de s'y retrouver et pour expliquer le transfert, en voici un bref aperçu.

- **Transfert positif, transfert négatif et transfert neutre**

Le transfert positif dans une situation d'apprentissage servira de « catalyseur » à un nouvel apprentissage. Le transfert négatif sera enregistré au moment où le nouvel apprentissage viendra interférer, ralentir ou inhiber (Bussmann, 1946; Foxon, 1993; Kaniel 2001; Lafrenière, 1999; Salomon et Perkins, 1989; Sousa, 2002) l'apprenant dans sa démarche ou sa performance. Ainsi, nous sommes en présence d'un transfert négatif ou bloqué si l'élève s'attarde davantage à l'habillage du problème qu'à la structure même (Jaccard *et al.*, 1995). À la limite, s'il n'y a pas d'effet, l'appellation transfert nul (*zero transfer*) est employée. Par exemple, les habitudes (mouvement des bras lorsqu'il s'agit de frapper la balle) développées par un joueur de baseball pourraient avoir des effets différents dans la pratique d'autres sports : un effet bénéfique en balle lente, plus ou moins nul en natation et un négatif au golf.

Les études traitant de transfert positif et de transfert négatif comportent habituellement l'utilisation et la comparaison de groupes expérimentaux et de groupes témoins. Dans un tel contexte, l'intérêt est souvent lié à la vérification de l'efficacité d'un enseignement favorisant des stratégies de transfert. C'est ainsi que Pilon (1993) a pu vérifier que « la quantité de transfert positif des apprentissages dépend du degré de similitude entre les composantes des deux tâches : les stimuli et les réponses à apprendre ». L'évaluation du transfert positif porte alors sur l'économie (la durée ou le nombre d'essais moindre d'une situation d'apprentissage) (Malcuit, Pomerleau et Maurice, 1995).

Par ailleurs, le transfert peut être général, se répercutant alors sur une vaste gamme de nouvelles connaissances et compétences, ou encore spécifique, se répercutant uniquement sur des connaissances et des compétences particulières dans un domaine circonscrit (Broad et Newstrom, 1992; Cormier et Hagman, 1987).

- **Transfert spécifique et transfert non-spécifique ou général**

Lorsque le transfert se réalise dans une situation où il y a similarité entre le stimulus et le résultat, il s'agit d'un transfert spécifique (exemple : apprendre d'abord à conduire une voiture, puis une camionnette). Toutefois, si la démarche est plutôt reliée à des caractéristiques globales et générales, le concept retenu est celui de transfert général. Pour nous, cette distinction apportée par Cormier et Hagman (1987) et reprise par Malcuit et ses coauteurs (1995) ne permet pas l'atteinte d'une meilleure compréhension du concept évoqué et ce, même si elle demeure intéressante sur le plan conceptuel. Prenons comme exemple la connaissance géographique d'une ville telle Québec : *ce n'est pas parce que je connais Québec et que j'y conduis une voiture qu'il sera aussi facile de le faire à Paris.* Au même titre, disons qu'un

individu maîtrisant des notions d'électricité au plan théorique (en physique), ne fait pas de lui nécessairement un bon électricien (pratique).

- **Transfert vertical, transfert séquentiel et transfert latéral**

Le transfert vertical est celui qui semble être le plus près des programmes d'études actuels de niveau secondaire (programmes par objectifs d'avant la réforme). Ainsi, lorsqu'une connaissance contribue au passage à un niveau de complexité supérieur, le terme vertical est employé (Ausubel et Robinson, 1969; Gagné, 1976; Tardif, 1997). Il peut s'agir de concepts appris à l'intérieur d'une même discipline ou d'une discipline différente, ou encore dans un même cours, mais d'un niveau de difficulté supérieur. Si le transfert a trait aux interrelations entre les connaissances acquises aujourd'hui et celles à acquérir demain (par exemple, savoir additionner prépare à savoir multiplier), la formulation *transfert séquentiel* est alors d'usage (Ausubel et Robinson, 1969). Toutefois, si le transfert s'effectue à un même niveau (entre deux cours, par exemple), il convient alors d'utiliser l'expression « transfert latéral ». Ainsi, des notions apprises dans le cours de mathématiques de quatrième secondaire pourraient servir en sciences physiques de même niveau. Le transfert latéral se produit lorsque la performance se situe au même niveau que la performance initiale, mais dans un contexte différent (par exemple, lire à l'école et lire à la maison ou calculer en mathématiques et calculer en sciences). C'est le type de transfert souvent utilisé lors de situations d'apprentissage que l'enseignant ne contrôle pas. C'est ainsi que le transfert latéral, tout comme le transfert séquentiel, est essentiellement d'ordre horizontal (Morissette, 2002) en ce sens que le transfert se fait dans la même catégorie de comportements.

S'il est vrai que les matières scolaires sont, dans bien des cas, présentées dans un ordre séquentiel, il reste que toutes les matières scolaires ne possèdent pas la même structure séquentielle. Si on ne respecte pas une certaine logique de présentation en mathématiques, il y a peu de chance de réaliser un apprentissage significatif (à moins de se contenter d'un apprentissage mécanique). Par contre, en écologie dont la structure est moins séquentielle, il est possible de comprendre ou de réussir, c'est-à-dire d'accéder à un niveau supérieur de connaissance, sans avoir acquis au préalable toute une série de concepts de base.

- **Transfert informé ou programmé et transfert spontané**

Le transfert informé ou programmé consiste à inciter l'élève à réutiliser les connaissances acquises, à partir du modèle d'enseignement dans le contexte de transfert tandis que le transfert spontané est le fait de ne pas le faire savoir à l'élève (Gick et Holyoak, 1987). Par exemple, l'apprentissage de la grammaire française commence par l'acquisition des connaissances et se poursuit graduellement jusqu'à l'appropriation d'une démarche d'autocorrection et de révision, jusqu'à ce que l'on automatise les règles à appliquer (transfert spontané) ou, à la limite, les questions à se poser, et ensuite les actions à poser pour éviter les erreurs (transfert informé) (Tarakdjian, Tremblay et Bégin, 1996). Le transfert peut être programmé, si c'est l'enseignant qui se fixe comme objectif, à l'intérieur d'une ou de deux disciplines, de le provoquer ou de l'enseigner. Il peut être spontané s'il est effectué à l'initiative de l'élève, qui pense lui-même à réinvestir une compétence déjà disponible (Astolfi et Laurent, 1992).

- **Transfert rapproché et transfert éloigné**

Mayer (1975) apporte d'autres distinctions en ce qui concerne le transfert. Ainsi, si la situation où le complexe de stimuli est similaire, la notion de transfert rapproché peut être appropriée pour décrire ladite situation. Par exemple, la maîtrise du français pourrait devenir un outil intéressant dans l'apprentissage de l'espagnol. L'habileté à isoler une variable en mathématiques et en sciences en serait un autre exemple. Dans chacune des cas, il s'agit de deux situations similaires, mais non identiques.

Quant au transfert éloigné, il s'appuie davantage sur des situations où les complexes de stimuli sont très différents. Pour Royer (1979), le transfert des apprentissages scolaires dans la vie de tous les jours serait un exemple de transfert éloigné; un problème souvent déploré par les jeunes. Ce qui distingue le transfert éloigné du transfert rapproché, c'est le nombre plus grand d'éléments nouveaux de « l'espace-problème » du transfert. Autrement dit, un transfert rapproché origine d'une situation où il y a similitude des éléments de surface, alors que le transfert éloigné serait attribuable à la reconnaissance d'éléments de structure par l'individu. Les concepts de *Near and Far Transfer* (Haskell, 2001 ; Paour, Cèbe et Haywood, 2000 ; Van Gerven, Paas, Van Merriënboer et Schmidt, 2002) ou de transferts lointain et proche (Moal, 1996) sont des synonymes de transferts éloigné et rapproché.

- **Transfert littéral et transfert figuratif ou analogique**

À partir de la classification de Royer (1979), il est possible de distinguer le transfert selon deux autres niveaux : littéral et figuratif. Le transfert littéral comporte

une utilisation directe d'une partie de connaissances ou d'une habileté dans la nouvelle situation d'apprentissage. À titre d'exemple, soulignons que la maîtrise de la règle des proportions peut être utile aussi bien en mathématiques qu'en physique.

Le transfert figuratif nécessite l'emploi de certaines parties des connaissances que l'on a du monde comme outil réflexif dans une démarche de résolution de problèmes. Les expériences antérieures y sont d'une grande importance et l'analogie en est un bon exemple. Un exemple typique est celui du cours d'eau utilisé, en physique, comme modèle analogique pour expliquer les circuits électriques, la hauteur de la chute représentant la différence de potentiel, les roches, les résistances et ainsi de suite.

- **Transfert scolaire, transfert opérationnel et transfert intégral**

Le transfert scolaire se définit comme étant l'application à l'école d'une compétence acquise dans une même discipline ou dans un contexte similaire. Les transferts vertical et horizontal cités par Gagné (1985) s'appliquent aussi au transfert scolaire. Un élève peut en effet réutiliser des notions de mathématiques de deuxième secondaire pour son cours de sciences physiques de deuxième ou de quatrième secondaire.

Le transfert opérationnel consiste à mettre en pratique des savoirs acquis à l'extérieur de l'école à l'occasion d'activités professionnelles, de stages ou de toutes autres activités parascolaires. À titre d'exemple, l'élève ayant reçu une formation en réanimation cardiaque pourrait s'en servir autant à l'école qu'à l'extérieur de celle-ci.

Enfin, le transfert intégral suppose que l'individu exerce de façon spontanée, le transfert dans des situations jugées opportunes. Selon le Conseil supérieur de l'éducation (1991), ce genre de transfert serait favorisé à l'adolescence. Pour y arriver, il se peut que l'élève ait besoin, à l'occasion, de l'aide de son enseignant. Malheureusement, ce genre de transfert, lorsque présent, est trop valorisé par l'école et n'habilite pas nécessairement l'élève à transférer dans des situations variées.

- **Transfert par le bas ou transfert par le haut**

Le transfert bas de gamme (*low road transfer*) est mobilisé quand deux situations d'apprentissage se ressemblent beaucoup par leurs traits de surface (Astolfi, 1997, cité dans Morissette, 2002; Fogarty *et al*, 1992; Salomon et Perkins, 1989) comme écrire avec un crayon ou avec un stylo à bille. À l'école, ce sont surtout ces transferts plutôt discrets qui sont favorisés (Barth, 1993; Morissette, 2002). Les élèves apprennent rarement à faire des transferts délibérés. En ce sens, il s'agit davantage d'application que de transfert.

Le *high road transfer* ou « transfert de haut niveau » est un mécanisme fondamentalement différent (Frenay, 1996). Il n'est pas automatique, mais se produit de façon consciente (autre contexte). Il s'agit donc d'un effort intellectuel, consciemment voulu par la personne qui le fait, et qui s'apparente amplement au transfert spontané (Morissette, 2002).

Par rapport au « transfert de haut de gamme », Perkins et Salomon (1988) font encore la distinction entre le transfert qui s'utilise pour une action future : le transfert

prospectif ou *forward reaching transfer* et celui qui s'applique en arrière , c'est-à-dire, le transfert rétrospectif ou *backward reaching transfer*. L'élève cherche alors dans son répertoire, une situation qui pourra l'éclaircir. L'analogie en est un exemple (Barth, 1993).

Notons finalement que le transfert créatif ou *creative transfer* pourrait être une forme de transfert de haut niveau. Kaniel (2001) cite et propose l'exemple d'un ingénieur qui, pour la construction d'un avion, s'était inspiré d'un principe du domaine de la vie de tous les jours, celui de la légèreté et de la souplesse du papier hygiénique.

- **Transfert court et transfert long**

Un transfert qui réussit dans des conditions généralement peu éloignées, dans le temps et dans l'espace, et différenciées de la situation d'apprentissage est qualifié de court. Par contre, un transfert qui réussit dans des conditions qui tendent à s'éloigner dans le temps et dans l'espace, à se différencier de la situation d'apprentissage est appelé long (Presseau, 1998; Toupin, 1995).

Ce relevé des différentes taxonomies de transfert est intéressant dans la mesure où il permet d'en saisir toutes les subtilités ainsi que les avantages. De plus, il est important de noter que des catégories sont incluses dans d'autres taxonomies ou du moins dans des taxonomies très voisines (figure 2.3). Sans être exhaustive, cette liste aura néanmoins contribué à une meilleure compréhension des diverses conceptions rattachées au transfert. Elle pourrait être utile pour des propositions didactiques. La figure suivante en propose une synthèse.

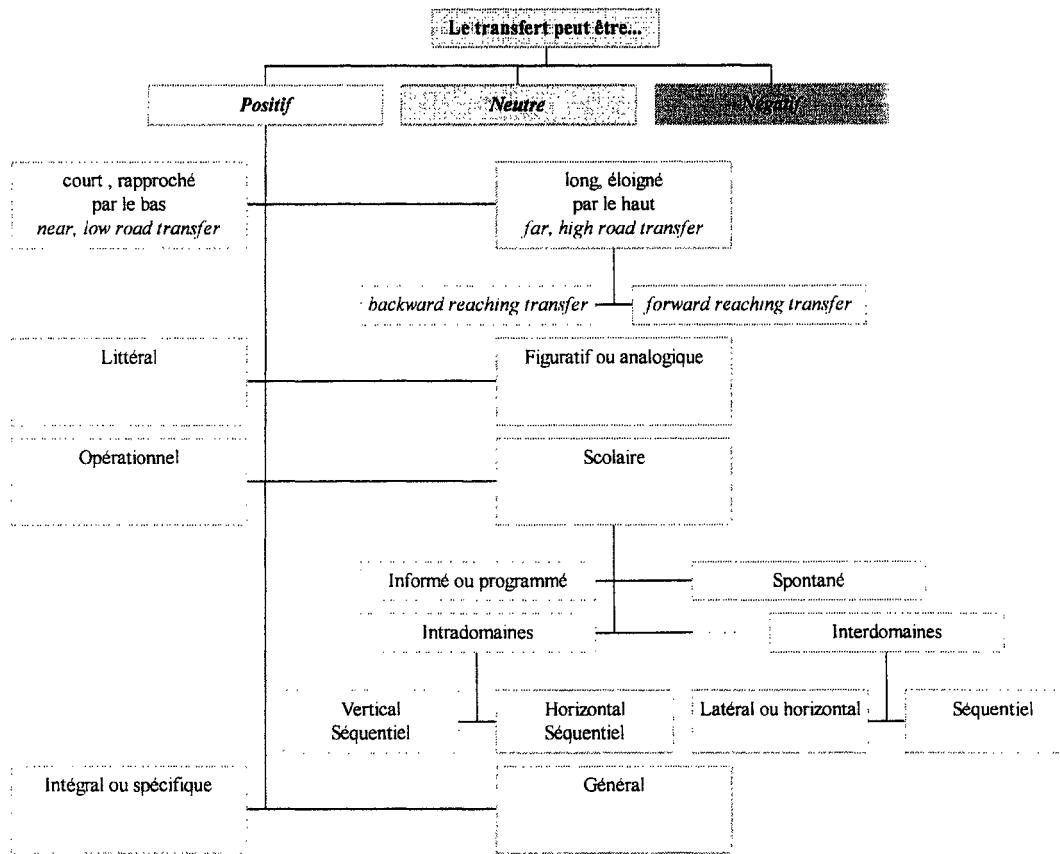


Figure 2.3 : Réseau de concepts des typologies du transfert

En cherchant à comprendre le processus du transfert et en portant une attention particulière à la taxonomie, nous constatons ainsi que chaque catégorie comporte généralement deux niveaux souvent opposés : rapproché (trait pointillé de la boîte) et éloigné (trait plein de la boîte), par exemple. D'où l'intérêt de s'inspirer du concept d'expertise afin de répondre aux objectifs visés par la recherche.

2.2 Recherches sur les concepts de novice et d'expert

La notion de novicité et d'expertise ne fait pas l'unanimité au sein de la communauté scientifique. En dépit des nombreuses études, le sens de ces concepts est loin d'être univoque; il l'est d'autant moins que l'entendement issu de ces études comporte des extensions d'utilisation et d'exploitation qui ne vont pas toujours de pair avec les définitions elles-mêmes. Jusqu'à présent, la notion d'expertise a été utilisée dans plusieurs champs de recherche. Une des tendances est de comparer les façons de procéder du novice et de l'expert en situations de résolution de problèmes. On retrouve de telles comparaisons dans une variété de domaines, tels les échecs (Chase et Simon, 1973), la médecine (Patel et Groen, 1991), la résolution de problèmes scientifiques (McDermott et Larkin, 1978), la réalisation de mots croisés (Underwood, Deihim et Batt, 1994) et les sports (Allard et Starkes, 1980) (Traduction libre, cités dans Waters, Townsend et Underwood, 1998). Généralement, ces recherches tendent à démontrer que la démarche suivie par l'expert en vue de résoudre un problème est différente et supérieure à celle du novice. Chaque étape est menée plus efficacement, car l'expert est conscient de « l'importance d'analyser et de bien comprendre les données du problème », de « l'importance de planifier des solutions », de « la nécessité d'évaluer autant le produit final que le processus conduisant à ce produit » (Schoenfeld, 1989, cité dans Tardif, 1997, p. 227).

Puisque nous cherchons à identifier des indices qui caractérisent les élèves qui effectuent ou non un transfert et à en dégager les profils individuels de bons ou de moins bons transféreurs, il nous apparaît approprié de prendre appui sur les recherches effectuées depuis quelques années dans le domaine de l'expertise.

Ainsi, selon la littérature consultée, le novice se définit comme un individu capable de faire des transferts de bas niveau (rapproché ou informé, par exemple). Dans une certaine mesure, le novice serait capable de faire du transfert spécifique, puisque celui-ci exige un bon degré de similarité, donc l'utilisation des traits de surface. Ainsi, le novice aura tendance à s'attarder aux caractéristiques de surface (Holyoak, 1985) c'est-à-dire à l'habillage (Bastien, 1987), et procédera plutôt par tâtonnement pour résoudre un problème. Chi, Feltovich et Glaser (1981) concluent : « les novices sont incapables de traiter les problèmes dans leur totalité; ils les traitent en surface ». L'activité intellectuelle du novice serait limitée et superficielle. Cette superficialité, ce manque de profondeur le rendrait moins performant quant au transfert et à la résolution de problèmes. Holyoak (1990) arrive à des conclusions similaires laissant croire que le novice classe les différents types de problèmes à partir de caractéristiques de surface (Halford, 1993). De plus, il possède des bases de connaissance limitées et il accède difficilement à celles-ci parce qu'elles seraient peu organisées. Ainsi, lorsqu'on demande à un novice de décrire sous forme de réseau ce qu'il sait déjà d'un sujet donné, une suite additive de concepts non reliés entre eux est obtenue (St-Onge, 1993).

La comparaison entre les novices et les experts, selon plusieurs niveaux d'activités humaines, a permis d'établir que les connaissances des experts, en mémoire à long terme, sont très organisées (Tardif, 1997). Les experts ont créé de nombreux liens entre leurs connaissances se rapportant à une même réalité et ces liens, c'est-à-dire cette organisation, leur permettent non seulement de récupérer facilement les connaissances qu'ils ont en mémoire, mais également de traiter de nombreuses données ou de réutiliser simultanément des connaissances variées (Picard et Ouellet, 1996). C'est souvent sous forme de réseaux de concepts que ces connaissances sont organisées, tel que souligné par Dufresne et ses collaborateurs (1995, p. 2) : « L'expert détient un riche amas de concepts où tout concept est relié à d'autres et la

relation entre concepts est clairement saisie. Chaque concept est organisé hiérarchiquement avec des supra-concepts qui les rattache l'un à l'autre ».

Les experts disposent également de bases de connaissance plus larges (Chi, Glaser et Farr, 1988) et plus variées (Brien, 1994) que les novices. Ils réussissent bien, rapidement et savent retrouver la structure d'un même problème en dépit de ses habillages différents, de ses traits de surface variés (Gentner, Rattermann et Forbus, 1993; Poissant, 1995). Leur habileté permet la combinaison de divers outils, la coordination de diverses procédures pour le traitement d'une situation plus complexe que celles auxquelles ils sont habitués.

On s'entend généralement pour dire que l'expert maîtrise des connaissances précises, c'est-à-dire celles qui font partie de son domaine d'expertise. Plusieurs études démontrent toutefois que, face à un problème pour lequel il n'a pas de connaissances, l'expert aura tendance à avoir le même comportement que le novice. Et à l'inverse, le novice qui a des connaissances précises se rattachant au problème aura tendance à se comporter comme l'expert (Chi, Glaser et Rees, 1982; Tardif, 1997; Woods, 1988).

Puisque cette recherche s'intéresse à l'élève dans son milieu d'apprentissage, la prise en compte de caractéristiques individuelles est manifeste et devient un facteur à considérer. Cependant, précisons qu'il n'est nullement question de vérifier si les élèves des groupes réguliers et enrichis s'apparentent respectivement aux catégories novice et expert.

En accord ou non avec la notion d'expertise, le constat est le suivant : certains individus trouvent plus facilement une solution et effectuent davantage de transferts. Pourquoi ? Quelles sont les caractéristiques de chacun ? Qu'est-ce qui pousse l'élève à prendre plus de temps pour cette étape de la résolution d'un problème ? Qu'est-ce qui le pousse davantage à s'intéresser à ces données ?

Partant du principe qu'il existe des catégories (notamment, dans Toupin, 1995) ou des niveaux de transfert tels que définis par Fogarty et ses collaborateurs en 1992 (voir Lazear, 1994), les études recensées précédemment ont donc servi à établir les balises de la présente étude et à définir des indicateurs potentiels comme l'organisation des connaissances, la similitude, la base de connaissance et le contexte pour les manifestations du transfert.

2.3 Indicateurs potentiels du transfert

Pour qu'un transfert puisse s'établir, il convient d'abord que l'apprentissage lors de la première situation soit solide et que les conditions de présentation de la seconde puissent réactiver l'apprentissage lui-même. Or, bien des phénomènes peuvent faciliter ou perturber cette nouvelle présentation. Le décalage temporel est un des facteurs de déclin de traces mémorisées (Ellis, 1965) et de l'efficience même du transfert. C'est ainsi que des expériences ont été tentées ; elles proposaient des problèmes similaires aux individus, mais en faisant varier le temps écoulé entre les deux tâches (Bastien-Toniazzo, Blaye et Cayol, 1997). Les résultats ont démontré que plus le temps écoulé est court, plus les chances d'un transfert sont bonnes. Les stratégies et habiletés utilisées jouent également un rôle important. Weinstein et Mayer (1986 ; 1992) insistent sur l'influence des stratégies d'apprentissage dans le processus d'encodage des données dans la mémoire. L'encodage, selon Mayer

(1987), correspond au transfert de l'information de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme.

S'appuyant sur les caractéristiques novice/expert, il est possible de croire que d'autres facteurs puissent influencer, selon des degrés divers, le transfert des connaissances chez l'individu. C'est sur cette base que nous pourrons dire s'il y a eu ou non transfert. L'occurrence de ces facteurs nous servira d'indices d'une manifestation de transfert.

Un indicateur se définit comme un élément significatif, repérable dans un ensemble de données et permettant d'évaluer une situation, un processus, un produit. Il se manifeste par des signes observables et mesurables dans les faits, par une dimension d'un concept (Lamoureux, 1995; Peretti, Boniface et Legrand, 1998). Nous pensons pouvoir vérifier la présence de ces manifestations à partir d'une démarche de résolution de problèmes mathématico-scientifiques. Les principaux indicateurs retenus sont :

- 1) la similitude ou l'isomorphisme : la similarité de surface et de structure;
- 2) les connaissances antérieures ou bases de connaissance;
- 3) l'organisation des connaissances;
- 4) le contexte du problème.

2.3.1 Similitude et isomorphisme

Datant du début du siècle, la théorie « des éléments identiques » (Thorndike et Woodworth, 1901) est basée sur le concept de similitude, entre le stimulus et la cible.

Elle relève des courants associationnistes et connexionnistes liés aux théories behavioristes où le rapport stimuli-réponse est très important. Comme cette théorie est limitative et s'apparente davantage aux modèles de transferts spécifique et vertical, nous n'en retenons que l'idée de similitude. Le concept de similitude est apparu comme une dimension incontournable du phénomène de transfert, puisqu'il conditionne à la fois l'accès et le traitement des connaissances afin d'en tirer un profit ultérieur. Sans le concept de similitude, il n'y aurait pas de théorie du transfert (Butterfield et Nelson, 1989).

Bien qu'elle permette d'expliquer le transfert rapproché, la théorie des éléments identiques demeure faible pour étudier le transfert éloigné, car elle est trop fortement ancrée sur les similitudes entre deux situations, entre des problèmes ou des éléments de ceux-ci. Puisque certaines recherches ont montré que tous les éléments similaires n'ont pas tous la même importance (Singley et Anderson, 1989), il importe de bien distinguer la similarité de surface et celle dite de structure. La similarité de « surface », ou ce que Bastien (1987) et Jaccard *et al.* (1995) appellent d'un point de vue pédagogique « l'habillage », peut s'interpréter comme des données superflues ou non pertinentes pour la résolution du problème. De nombreux facteurs peuvent faire varier la ou les similitudes retenues. Parmi ceux-ci, nous retenons le contexte, l'âge des sujets (Gentner, 1988), leur niveau d'expertise (Chi, Feltovich et Glaser, 1981; Chi *et al.*, 1988) et la présence de modèles mentaux plus ou moins adaptés et organisés pour répondre à la tâche demandée. Généralement, les élèves en difficulté utilisent ces données, car ils ne sont pas sensibilisés au fait qu'un problème peut contenir des données en trop. Dans l'exemple suivant, ils seraient portés à vouloir intégrer tous les chiffres dans leur résolution :

Le livre de Louise a 923 pages. Celui de Jacques en a 876. Jacques a déjà lu 508 pages de son livre. Combien lui en reste-t-il à lire?

Le fait de reconnaître une similitude dans les données de surface ne conduit habituellement pas à un transfert efficient et ce, même si Cauzinille-Marmèche (1991) considère qu'elles peuvent jouer un rôle décisif quant aux possibilités de transfert. Toutefois, lorsque l'apprenant identifie une similitude dans la structure d'un problème, il peut s'en servir et effectuer un transfert effectif et de haut niveau. Il diminue ainsi, sa charge cognitive (économie), car plus la tâche de transfert demandée à l'apprenant est comparable en structure et en contenu à la situation originelle dans laquelle le savoir-faire a été acquis et utilisé, plus la capacité de transfert sera grande (Jacquinot, 1984).

En poussant davantage le raisonnement, nous pourrions dire que la similitude de structure (isomorphisme) regroupe la similarité au niveau des relations entre deux ou plusieurs éléments, ou entre des systèmes de relations. Elles sont identifiées sur la base des relations entre deux objets, entre un objet et une relation (analogie) ou entre plusieurs relations (Cauzinille-Marmèche, Mathieu et Weil-Barais, 1985). Pour Holyoak et Thagard (1989), une similarité de surface est sans impact, alors que la similarité de structure influence et joue un rôle important dans une démarche de résolution de problèmes utilisant le transfert. C'est probablement ce qui pousse Raynal et Rieunier (1997) à écrire « que les experts sont capables d'identifier l'isomorphisme qui existe entre deux situations relevant de leur champ de compétences ». Ainsi, l'application pratique des connaissances et leur transfert à des situations nouvelles seront facilités si la situation d'apprentissage ressemble au contexte dans lequel les connaissances seront utilisées. En d'autres termes, plus la situation dans laquelle des connaissances sont acquises ressemble à celle où

l'apprenant aura à les mettre en pratique, plus le transfert des connaissances se fera facilement (Cauzinille-Marmèche, 1991; St-Jean, 1994).

La similitude entre deux tâches est certainement l'indicateur le plus étudié dans le transfert (Genthon, 1982). « *Analogy and similarity are central in learning and transfer. People solve problems better if they solved prior similar problems* » (Holyoak et Koh, 1987; Gentner *et al.*, 1993). Malgré les quelques limites retenues et relevées ci-dessus, la similitude nous apparaît comme un indicateur intéressant puisqu'il permet des économies sur le plan cognitif et que l'individu est souvent en recherche de cette « économie cognitive ». Même si la similarité est universellement reconnue pour être au centre du phénomène de transfert tant chez les bélavioristes que chez les cognitivistes, les recherches récentes considèrent son rôle comme étant complexe (Gentner *et al.*, 1993) et ne constituant pas une condition unique et suffisante au transfert (Bastien-Toniazzo *et al.*, 1997).

Parce que l'école est souvent vue comme un lieu où l'entraînement, à partir d'exercices parfois semblables, parfois différents, est favorisé, le concept de similitude sera retenu dans notre recherche pour évaluer quelques manifestations du transfert. Nous voulons ainsi juger de l'importance du concept de similitude dans le transfert. Du même coup, il sera possible d'examiner si le taux de transfert augmente seulement lorsqu'il existe une similitude perceptive et fonctionnelle forte entre deux situations.

Un des postulats de base sur lequel repose notre étude est le suivant : l'apprentissage n'est pas qu'une simple reconnaissance des similitudes, mais un processus complexe de transformation des idées qui passe par la réorganisation des

connaissances antérieures et l'élaboration de nouvelles connaissances. Ceci nous conduit à proposer les bases de connaissance et l'organisation de celles-ci comme deuxième et troisième indicateurs du transfert.

2.3.2 Connaissances antérieures ou bases de connaissance

Pour Mendelsohn (1994 ; cité par Jaccard *et al.*, 1995), « nos connaissances ne sont que le reflet des processus par lesquels nous les avons encodés et tout nouvel apprentissage dépend de la manière dont ont été acquises les connaissances antérieures ». Voilà donc ce qui nous amène à considérer les bases de connaissance comme un autre indicateur potentiel.

Les connaissances antérieures de l'apprenant jouent un rôle essentiel dans l'acquisition des nouvelles connaissances (Ausubel, 1968; Bracke, 1998; Chastrette, 1989; Tardif, 1997); elles en facilitent l'émergence. En fait, elles sont le cadre de référence sur lequel l'individu s'appuiera pour organiser et réorganiser les nouvelles connaissances, et ce, dans un tout cohérent. « Il est impensable de mettre en branle un processus d'apprentissage ou un acte de cognition en niant ou même en esquivant toute espèce d'antériorité » souligne Noiseux (1998, p. 392). Si l'apprenant ne peut s'appuyer sur les connaissances antérieures ancrées dans sa mémoire à long terme, la compréhension sera superficielle, l'apprentissage moindre et le transfert difficile! Develay (1992) appuie cette vision et affirme que « tout apprentissage correspond à un processus de changement; processus qui ne commence jamais de zéro et qui aboutit toujours à un développement de la possibilité d'apprendre ».

Dans le courant cognitiviste, les acquis antérieurs, jouissent d'une importance appréciable et constituent une part importante dans la compréhension du mécanisme de transfert. Devant un problème à résoudre, l'individu pourra chercher d'abord dans ses acquis des éléments de réponse à transférer.

Ausubel (1967) postulait déjà que l'esprit humain est semblable à un mécanisme de traitement et d'emmagasinage de données. Les nouvelles connaissances seraient rattachées aux anciennes par des procédés mentaux créateurs de liens. L'association de nouvelles connaissances aux connaissances établies antérieurement serait responsable de l'intégration des connaissances, voire même de l'apprentissage.

L'acquis assume donc une double responsabilité : celle de l'acquisition des connaissances et celle de la réduction mémorielle au profit du système cognitif de l'être humain. Les nouvelles connaissances sont non seulement déterminées par les connaissances antérieures, mais elles sont aussi structurées par celles-ci. L'apprentissage, le processus responsable de l'acquisition des connaissances, pourrait donc être conçu, chez l'élève, comme une restructuration des nouvelles connaissances à partir de l'acquis. Même si l'acquis a un rôle primordial, d'autres facteurs ont un rôle important à jouer dans l'apprentissage.

Quelques recherches (Bransford *et al.*, 1990; Huteau *et al.*, 1994) insistent sur le fait que l'aptitude au transfert est également conditionnée par l'organisation des connaissances. En ce sens, d'autres auteurs mentionnent que plus le savoir est organisé ou structuré, plus il devient facile de l'utiliser (Laliberté, 1995a; Maingain *et al.*, 2002).

2.3.3 Organisation des connaissances

L'idée de l'influence possible de l'organisation des connaissances sur la nouvelle information remonte à Ausubel (1963) et Novak (1977). Selon ces chercheurs, l'individu passera une bonne partie de sa vie à accumuler des connaissances. Cependant, la mémoire ayant ses limites, son contenu devra être organisé pour être facilement accessible. L'information doit être structurée pour qu'il y ait apprentissage (Cliche *et al.*, 1997; Derry, 1990) et, si possible transfert. L'organisation de la connaissance peut donc assister la recherche en mémoire, aider au rappel (Sommerville et Wellman, 1979) et favoriser la recherche de nouvelles entrées. L'apprentissage en est facilité, car le matériel à apprendre est aisément repérable, ce qui réduit l'effort (économie cognitive). Ce serait donc la façon dont les entrées sont structurées dans la mémoire à long terme. Les connaissances déjà acquises servent à comprendre et à structurer les informations nouvelles. Ces dernières peuvent être enregistrées et organisées ou « encodées » de diverses façons.

Les connaissances ne sont pas stockées au hasard dans la mémoire; elles sont organisées, structurées et hiérarchisées. La qualité de cette organisation peut déterminer la compétence cognitive d'un individu par rapport à un autre (Glaser, 1992). La recherche a montré que la quantité des connaissances et la qualité de leur organisation dans la mémoire à long terme d'un lecteur ont un effet sur le traitement de l'information pendant la lecture et, par conséquent, sur les performances du lecteur dans l'accomplissement des tâches de rappel et de compréhension (Armand et Ziarko, 1995; Armand, 1998). Plus les connaissances sont organisées pour l'élève, plus elles sont significatives pour lui et plus il pourra les réutiliser de façon fonctionnelle (Tarakdjian, Tremblay et Bégin, 1996). C'est encore cette qualité de l'organisation

qui soutiendra la solution d'un problème ou facilitera la récupération du souvenir d'un apprentissage donné lors d'un contrôle ou d'un examen. Peu importe la technique utilisée pour arriver à cette fin, l'organisation des connaissances apparaît, dès lors, comme une condition incontournable pour que le transfert puisse se produire (Tardif et Meirieu, 1996).

La rapidité avec laquelle se produit un apprentissage dépend du degré de rappel qui dépend largement du système de stockage créé par l'apprenant et de la manière dont l'apprentissage a été enregistré (Sousa, 2002).

À partir du point de vue qui nous intéresse, il importe de souligner l'importance de l'organisation des connaissances pour que celles-ci puissent être non seulement retenues mais aussi facilement rappelées. Les connaissances organisées par schèmes, par théories, par règles de production (si... alors...), par *chunks* (blocs d'information), sont plus facilement mobilisables. La mémoire à long terme est surtout sémantique. Elle permet de retenir des informations lorsque celles-ci sont articulées à d'autres informations qui lui donnent du sens. Plus les compétences et les connaissances sont organisées dans la mémoire à long terme, plus elles sont accessibles (Le Boterf, 2001).

Pour qu'il y ait recontextualisation, l'organisation de la connaissance est toutefois importante et essentielle. Les difficultés à organiser et à structurer leur pensée chez certains élèves sont maintenant bien connues (Fustier, 1992 ; Novak, 1995 ; Reed, 1999). Ainsi, le transfert serait limité puisque la récupération de savoirs antérieurs est difficile, voire même impossible dans bien des cas. Diverses

recherches ont montré que l'habillage d'un problème de mathématiques peut influencer la réussite des élèves (Barth, 1993).

La quantité et la qualité de l'organisation des acquis antérieurs qui, dans le traitement de solution servent de préalables à l'apprentissage pour la première idée ou de soutien pendant le déroulement même de l'acte de cognition posent avec éclat le problème de l'appropriation et de l'intégration dans la mémoire à long terme (Noiseux, 1998). La représentation et chaque traitement dépendent respectivement de la qualité des acquis antérieurs, surtout de la qualité de leur organisation et de leur degré de prégnance dans les mémoires déclarative et procédurale (Noiseux, 1998).

2.3.4. Contexte du problème

Pour tenter de répondre à la question souvent posée à savoir où se situe le transfert dans une démarche d'apprentissage, nous intégrons le contexte comme étant une composante possible du processus. Il constituera notre quatrième indicateur.

Dans le domaine des mathématiques et des sciences, le contexte peut influencer fortement l'apprenant dans sa démarche de résolution de problèmes. L'étude de Carraher, Carraher et Schliemann (1987) permet de conclure que la situation dans laquelle les problèmes arithmétiques sont amenés peut avoir un impact considérable sur la façon de les résoudre. L'enseignement devrait être conduit à l'intérieur d'une matière, dans un contexte de travail ayant du sens pour les élèves. Les habiletés à penser doivent être contextualisées pour qu'il y ait signification chez le jeune (Idol, Jones et Mayer, 1991). D'ailleurs, la performance des élèves dans le milieu (en contexte, en situation) est significativement supérieure à celle observée à

l'école (Carraher *et al.*, 1987). Ici, le contexte permet de transférer dans la vie de tous les jours une compétence en résolution de problèmes et l'élève y trouve sa part de signification. Le contexte semble fournir un support au raisonnement, en ce sens il détermine le problème, le fait évoluer, donne un sens aux entités arithmétiques considérées, de même qu'aux opérations à effectuer.

Même si les recherches apparaissent favorables par rapport à la contextualisation des apprentissages ou de l'enseignement, il appert que la réalité en est tout autre, du moins en matière de transfert. Cette question de contexte est une voie relativement nouvelle dans l'étude du transfert et, selon certains, encore trop négligée. Conformément aux recherches portant sur ce qu'il est convenu d'appeler la cognition contextualisée, il semble que les personnes aborderaient leurs problèmes de mathématiques quotidiens (par exemple : faire son marché, charger un camion de marchandise, gérer son argent) en utilisant des schèmes pragmatiques liés au contexte qui leur est familier, dont l'efficacité est avérée et dans lesquels elles ont confiance. Les élèves ne seraient pas capables d'utiliser en classe ces mêmes schèmes pragmatiques lorsqu'ils sont confrontés à des problèmes mathématiques semblables. Citons l'exemple des jeunes vendeurs brésiliens qui réussissent dans une proportion de 98 % des problèmes de mathématiques dans le contexte qui leur est familier (la rue) et seulement dans un proportion de 37 % lorsque les mêmes problèmes leur sont posés dans un contexte scolaire (Carraher, Carraher et Schliemann, 1985). Cependant, si ces problèmes leur sont posés verbalement dans un contexte scolaire, le taux de réussite se situe alors à 74 % (Toupin, 1995). Quand aux différences entre experts et novices, un nombre grandissant de travaux de recherche (Altet, 1997; Presseau, 1998; 2003) indique que la meilleure façon d'assurer le transfert est de faire en sorte que l'apprentissage se fasse dans des situations réelles où les connaissances et les stratégies sont apprises en même temps. Ainsi, Scribner (1984) a constaté qu'un groupe de poseurs de tapis experts arrivent à faire des calculs arithmétiques

sans faute dans le cadre de leur travail, alors qu'ils ont obtenu des notes médiocres à des épreuves d'arithmétiques où l'apprentissage était décontextualisé (Taylor, 1997).

Une des difficultés rencontrées se situerait à l'étape de la décontextualisation. En effet, plusieurs élèves ont appris dans un contexte et sont incapables de décontextualiser leurs apprentissages. Ils sont ainsi conduits, s'il y a encodage, à une surcharge cognitive. En favorisant une décontextualisation des apprentissages, les élèves peuvent faire des liens d'un contexte à un autre (Bransford *et al.*, 1990; Tardif et Meirieu, 1996; Tardif, 1999) ce qui augmente les possibilités en matière de transfert.

C'est à l'intersection de la décontextualisation et de la recontextualisation que bloquent plusieurs de nos élèves. La plupart d'entre eux, même quand ils maîtrisent des connaissances formelles et savent les exposer devant un examinateur, sont incapables d'en faire usage à bon escient; il leur manque cette capacité « de la décontextualisation et de la recontextualisation » (Altet, 1997). En fait, la recontextualisation est difficile pour l'apprenant parce qu'elle nécessite une actualisation des connaissances à partir d'un transfert. Dans bien des cas, l'élève sera incapable de devenir un agent de généralisation utilisant et appliquant ses acquis à des situations autres que celles déjà enseignées.

Tardif (1999) insiste sur la nécessité de présenter aux élèves plusieurs contextes afin qu'ils puissent extraire d'une manière comparative les conditions nécessaires et suffisantes au transfert de leurs apprentissages. Il avance que « dans cette logique, la recontextualisation doit suivre immédiatement la contextualisation et précéder la décontextualisation et la séquence contextualisation-recontextualisation

et décontextualisation paraît la plus susceptible d'influer fortement sur le degré de transférabilité des apprentissages » (p. 207-208).

Le transfert s'inscrirait alors à l'intérieur d'un triptyque cher aux didacticiens des disciplines : contextualisation, décontextualisation et recontextualisation. L'hypothétique transfert serait alors le processus qui permettrait le lien entre ces trois phases (Jonnaert, 2002a et c).

Mendelsohn (1994; 1996), pour sa part, insiste sur la nécessité du contexte. Pour cet auteur, les connaissances sont inscrites dans le contexte dans lequel elles trouvent leur signification : elles sont situées. Le transfert serait alors le mécanisme permettant l'utilisation dans un nouveau contexte de connaissances construites antérieurement. Ces propos font écho au courant de « l'intelligence située » (Pea, 1993; Perkins, 1991; 1995; Wilson, 1996). Dans cette perspective, la situation n'est qu'un des éléments du contexte (Jonnaert, 2002a et c). L'activité ou le problème sont des situations d'apprentissage centrées sur le développement d'une habileté et dont le contexte est légèrement élaboré et parfois même peu signifiant. À ce titre, la figure suivante permet d'imager la globalité du contexte.

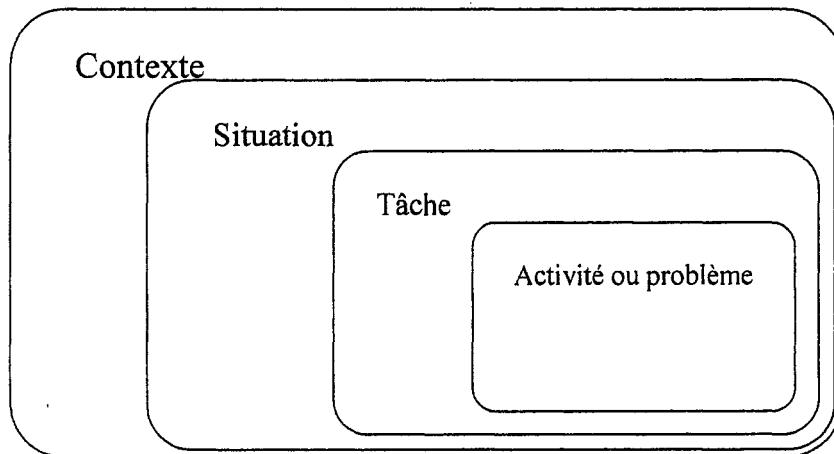


Figure 2.4 : Représentation schématique du contexte entourant le problème, la tâche ou la situation

Les indicateurs susmentionnés relèvent de la dimension cognitive de l'apprentissage. Nous sommes conscients de l'importance des autres dimensions telles la métacognition (préparation, contrôle, régulation), la motivation et l'environnement social (travail d'équipe). Néanmoins, considérant l'ampleur du travail et les difficultés inhérentes à l'évaluation de celles-ci, nous avons cru bon de nous restreindre à une seule dimension de l'apprentissage : la cognition. Pour ce faire, la taxonomie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles s'avère importante.

2.4 Recherches sur les connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

La structure cognitive d'un individu est constituée d'un ensemble de connaissances qui varient selon les finalités qu'elles supportent et la motivation à les atteindre.

La façon d'aborder la question du transfert dans cette thèse est influencée par les théories cognitivistes dont les schèmes d'explication sont principalement de nature « structurale » (similitude, organisation des connaissances, représentation du problème, procédures pour le résoudre). Nous ne pouvons nier la présence de connaissances qu'elles soient déclaratives, conditionnelles ou procédurales. C'est d'ailleurs ce qui nous a amenés à opter pour l'appellation « transfert des connaissances ».

2.4.1 La nature des connaissances

Actuellement, il semble exister deux types de typologie des connaissances en psychologie cognitive : l'une en deux catégories et l'autre en trois catégories. Certains auteurs (Haberlandt, 1997; Gagné, Yekovich et Yekovich, 1993, dans Ouellette, 2000) répartissent les connaissances en deux catégories : les connaissances déclaratives et les connaissances procédurales. Essentiellement, les connaissances déclaratives sont les savoirs (le quoi) et les connaissances procédurales sont les connaissances pratiques (le comment) (Haberlandt, 1997).

D'autres auteurs (Boulet, Savoie-Zajc et Chevrier, 1996; Noiseux, 1997; Saint-Pierre, 1995; Tardif 1997) vont préférer une typologie en trois catégories : les connaissances déclaratives, les connaissances procédurales et les connaissances conditionnelles. Les connaissances déclaratives et procédurales sont respectivement définies par le « quoi » et le « comment » (typologie en deux catégories). Les connaissances conditionnelles sont séparées des connaissances procédurales et mettent en jeu la capacité de reconnaître les conditions « le quand » et le « pourquoi » de l'utilisation d'une connaissance déclarative ou de l'application d'une connaissance procédurale. Selon Boulet *et al.* (1996), la division des connaissances en trois catégories est relativement nouvelle. Elle daterait de la nécessité reconnue par Schoenfeld en 1985, de développer la connaissance des conditions d'utilisation des procédures; la connaissance procédurale aura depuis été divisée pour se partager en connaissances procédurale et conditionnelle. En ce qui à trait aux connaissances conditionnelles, rappelons qu'elles consistent à savoir quand et pourquoi il est approprié de se rappeler d'une connaissance déclarative et d'utiliser ou d'appliquer une connaissance procédurale. À ce titre, Noiseux (1997, p. 156) rappelle que « les connaissances conditionnelles sont indispensables pour qu'il y ait un transfert ». Dans le cadre des théories du traitement de l'information, on s'entend aujourd'hui pour reconnaître ces trois types de connaissances (Ouellette, 2000).

Considéré par plusieurs comme l'un des premiers à avoir proposé une distinction entre les connaissances déclaratives et procédurales, Anderson (1983) estime que les faits et les notions constituent des connaissances déclaratives (savoirs).

Quant aux connaissances procédurales ou savoir-faire, il s'agit plutôt d'actions ou de moyens exercés pour apprendre. Enfin, les connaissances conditionnelles sont liées au contexte de production : savoir « quand » et « pourquoi » utiliser certaines

connaissances (Saint-Pierre, 1995; Tardif, 1997). En psychologie cognitive, la distinction des connaissances est capitale. Chez l'élève, en vertu de cette distinction, les connaissances sont représentées différemment et sont emmagasinées autrement en mémoire. Ainsi, pour Ouellet (1997), un élève ne peut traiter l'information sans établir des liens avec des connaissances qu'il a emmagasinées dans sa mémoire à long terme.

La réflexion pédagogique et didactique établit aussi une distinction entre connaissances déclaratives (savoir ce qui en est de la guerre civile américaine, par exemple) et connaissances procédurales (savoir se documenter, savoir argumenter oralement, par écrit) en soulignant l'importance trop souvent laissée dans l'ombre de ces savoirs méthodologiques (CSÉ, 1998).

Pourquoi une telle distinction? Pour Provost (1994), Moffet (1995), Nadeau (1995) et Tardif (1997), ce sont les connaissances conditionnelles qui sont responsables du transfert. Ces connaissances « dynamiques » sont au cœur même du processus de transfert, car elles permettent d'établir les liens entre les connaissances déclaratives et les connaissances procédurales.

Notre recherche faisant appel à la résolution de problèmes, cette catégorisation devient intéressante. En effet, des connaissances de type déclaratif, procédural et conditionnel sont exploitées à travers des problèmes soumis aux sujets. Nous cherchons de façon implicite à identifier quelques-unes des conditions dans lesquelles le transfert se produit et à mieux comprendre le processus de transfert chez des élèves du secondaire. De plus, cette taxonomie des connaissances a servi de lunette et de balise pour un traitement des données en profondeur.

2.5 Le transfert est-il une forme d'application ou de généralisation?

La capacité à résoudre de façon efficace les problèmes qui se présentent pourrait dépendre de l'aptitude à transférer les apprentissages acquis du passé à une situation présente. Quand une nouvelle connaissance est acquise, la réaction instinctive est de la réutiliser dans un contexte identique à celui dans lequel elle a été acquise (application). Lorsqu'un apprenant tient compte des ressemblances entre deux situations pour transférer un apprentissage, il généralise (Cliche *et al.* 1997) et s'il applique une solution connue à une situation nouvelle, alors il transfère!

L'application est plus superficielle (Désilets, 1997) que le transfert et se résume simplement à l'utilisation de moyens particuliers à la réalisation d'une tâche. À l'école, les exercices proposés en mathématiques peuvent être considérés, dans bien des cas, comme des applications. L'apprenant fait habituellement plusieurs exercices : il applique des algorithmes, exécute des automatismes et fait de la reproduction. Le transfert se différencie de l'application pure et simple d'une règle, comme de savoir qu'il faut utiliser une équation de deuxième degré pour calculer la trajectoire d'un corps en chute libre.

Le transfert se distingue d'un mécanisme de réutilisation automatique des apprentissages ou d'application des acquis par simple entraînement (*drill*), il est considéré comme un traitement cognitif complexe. Il s'agit, pour la plupart des auteurs, d'un processus de recontextualisation ou de particularisation des apprentissages (Le Boterf, 2001). Cette opération fait principalement intervenir un

traitement cognitif visant à préciser les similitudes ou encore les différences entre deux représentations, situations, et tâches (Maingain *et al.*, 2002).

« On a souvent dit que l'établissement d'habitudes mécaniques est à l'opposé du transfert » écrit Katona soulignant la différence entre ce que l'on peut appeler « l'application » définie comme étant simplement l'utilisation des moyens particuliers à l'exécution d'une tâche et le « transport » (*carrying over*) qui serait le transfert des principes généraux (Oléron, 1968).

La généralisation, quant à elle, fait partie du processus fondamental de l'apprentissage conceptuel. Elle permettrait d'atteindre un niveau de compréhension plus élevé (Klausmeier, 1990) que l'application. Elle survient lorsqu'une personne répond de la même façon à deux patrons différents. Généralement, les experts développent de plus grandes capacités à généraliser. Pour certains apprenants, la généralisation est difficile. « *For example, students can memorize definitions and facts about light and how it travels, and they can label the parts of the eye. But they cannot use the memorized definitions and facts to explain other everyday phenomena related to light and seeing* » (Roth, 1991, p. 110).

La généralisation renvoie ainsi à la coordination de données observables : elle s'appliquerait à une même classe de phénomènes définie par la nécessité de mise en œuvre des mêmes opérations. En revanche, le transfert nécessite non seulement des capacités de généralisation, mais également des capacités de discrimination. Selon Genthon (1982), le transfert porterait sur la coordination d'actions et impliquerait de nouvelles planifications des opérations. Il s'agirait de retrouver un algorithme de résolution qui même s'il existe, n'est pas utilisé par le sujet.

Dans le cas d'un apprentissage réussi, des situations d'application, de généralisation et de transfert des savoirs en cause, permettent d'en assurer la maîtrise. Dans la négative, des activités de remédiation peuvent succéder aux situations-problèmes diversifiées. Les situations d'application consistent en activités de réinvestissement comportant un certain niveau d'apprentissage. Le transfert oblige cependant à utiliser les connaissances apprises dans des situations dont le contexte se différencie assez nettement de la situation d'apprentissage ou dans des situations relevant même d'une autre discipline. Prenons l'exemple d'un élève qui a appris le tir en extension au ballon-panier. Au cours d'un match, il réinvestit cette capacité à plusieurs reprises et dans des situations de jeu différentes. Par la suite, il pourra transférer cette capacité à l'occasion du tir en extension au *hand ball*, par exemple. Voici un autre exemple : Un élève a appris à analyser une image publicitaire. Il sera capable de réinvestissement s'il s'exerce sur des images différentes. Il transférera cette capacité s'il cherche à analyser un film publicitaire, cette dernière situation faisant intervenir d'autres capacités et d'autres compétences (Develay, 1992).

Les caractéristiques différentes des situations de transfert que nous avons considérées dans cette recherche nous ont permis, au terme de cette recherche, de mieux différencier application, généralisation et transfert.

Pour la suite de nos travaux, l'application et la généralisation peuvent être considérées comme des formes simples de transfert ou, comme Presseau (1998) le souligne dans son modèle, des sous-processus conduisant au transfert.

Pour illustrer les distinctions entre les trois concepts, voici ce que l'on entend par application. Une application est plus superficielle et la distance entre les deux situations ou problèmes est plutôt courte. La distance représente ici, la similitude entre les problèmes, la représentation du contexte, l'espace-temps, qui sépare les deux situations pour ne nommer que ceux-là. Dans le cas de la généralisation, la distance à franchir est supérieure et la structure du problème cible est plutôt différente. Enfin, pour le transfert, la distance entre la source et la cible est beaucoup plus grande; le contexte se différenciant nettement.

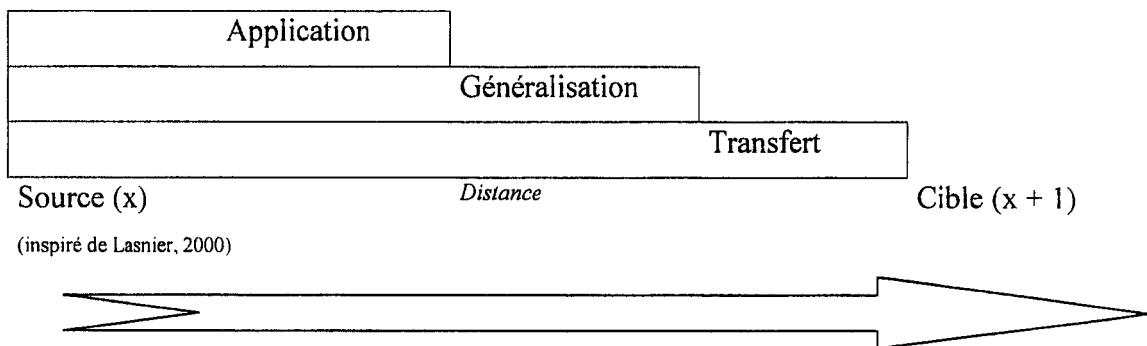


Figure 2.5 : Représentation schématique du concept de distance permettant de distinguer l'application, la généralisation et le transfert

Le transfert serait donc une application d'une solution efficace dans une situation source (x) à une situation cible ($x + 1$) jamais rencontrée, mais qui appartient à une même catégorie de situations (X). Cette catégorie (X) ou famille possède la même structure, mais un habillage différent. Plus la situation nouvelle est perceptiblement éloignée de la situation initiale, plus le transfert est difficile, car il faut avoir rencontré une très grande quantité de situations pour percevoir la structure sous des habillages très différents; ce serait le cas des experts selon Rieunier (2001).

2.6 La RDP pour favoriser l'émergence d'un transfert

La représentation selon laquelle la résolution de problèmes (RDP) est, en elle-même, une activité d'apprentissage nous semble faire l'objet d'un consensus en éducation, notamment chez celles et ceux qui se réclament du courant cognitiviste dont Tardif (1997). Nous souscrivons également à cette idée.

De façon courante, l'expression « résolution de problèmes » s'applique dans le cas où l'organisme est confronté à une tâche nouvelle pour laquelle il ne dispose pas de moyens organisés ou éprouvés pour rencontrer les exigences, mais à laquelle il trouve une solution soudaine, experte et bien organisée, après une phase de tâtonnement ou d'évaluation (Malcuit et al., 1995). C'est une démarche méthodique en vue de trouver une réponse à une question préoccupante, de déterminer une façon de parvenir à un résultat désiré; un processus qui vise à remédier à une situation embarrassante résultant des opérations précédentes.

En psychologie cognitive, la RDP est un processus intellectuel de traitement de l'information non seulement en situation scolaire d'apprentissage, mais dans toutes les situations de la vie quotidienne où un individu doit atteindre un but en ayant à poser des gestes appropriés pour le faire (Holyoak, 1990; Jones et Idol, 1990, cité dans Grisé et Trottier, 1997).

C'est également une approche pédagogique qui consiste à confronter l'élève à des problèmes signifiants et motivants, réels ou fictifs, dans le but de développer son autonomie et son implication dans la RDP (Grisé et Trottier, 1997). La didactique en

mathématiques et en sciences adopte volontiers une approche par résolution de problèmes. Cette approche place le sujet en état de déséquilibre cognitif afin de lui permettre de retrouver, par une démarche de réflexion appropriée, un nouvel équilibre « majoré » par rapport au précédent, selon l'expression de Jean Piaget (CSÉ, 1990).

Dans le cadre de notre étude, il convient de préciser que l'expression résolution de problèmes se différencie nettement d'une situation-problème telle que proposée par Astolfi (1993) ou Meirieu (1995). Il s'agit bien ici d'une façon d'apprendre qui s'apparente à ce qui se fait actuellement dans les classes du secondaire; elle fait appel à différentes connaissances antérieures (en mathématiques et en sciences) et nécessite une investigation approfondie (intégration, transfert) pour être résolue. Malheureusement et trop souvent, la RDP dans les écoles constitue un moyen d'enseignement qui s'apparente davantage à un exercice d'application.

Ce sont ces divers motifs qui nous poussent à utiliser la RDP comme outil pouvant favoriser la manifestation et l'utilisation d'indicateurs pour le transfert. D'abord, il faut regarder l'école d'hier et d'aujourd'hui. Il a été démontré qu'utiliser des stratégies de RDP (enseignement des stratégies qui s'effectue à partir d'un contenu disciplinaire ou d'un champ particulier de connaissances) est une orientation qui rend le transfert des apprentissages le plus probable (Glaser, 1984; Resnick, 1987; Voss, 1989, cités dans Grisé et Trottier, 1997). Encore aujourd'hui, c'est la démarche d'apprentissage qui est préconisée au Québec dans les programmes d'études en vigueur au secondaire (MEQ, 1989; 1995; 1996a; 1996b) tant en mathématiques qu'en sciences (MEQ, 1990; 1992a; 1992b) pour aider l'élève à acquérir des connaissances, des habiletés et des attitudes nécessaires à la saisie des concepts de même qu'à la connaissance et à la compréhension de la matière qui l'entoure.

Barbeau, Montini et Roy (1997) expliquent que la RDP facilite le transfert des apprentissages car l'intégration des apprentissages est soutenue par la mise en situation des élèves dans un contexte qui leur pose réellement un problème. C'est donc une méthode à favoriser dans le cadre d'une telle recherche, car la résolution de problèmes est fréquemment utilisée à cette fin, notamment dans les recherches de Bransford et Schwartz (1999), Brouillette (2002), Gick et Holyoak (1987) et Presseau (1998) pour ne nommer que celles-là. D'ailleurs, la RDP est encore un des grands axes de recherche de la didactique des sciences (Dumas-Carré et Gomatos, 2001).

2.7 En résumé

Nous avons d'abord présenté, dans le premier chapitre, la problématique qui sous-tend la réalisation de cette thèse. Des sujets tels les difficultés d'apprentissage, le cloisonnement des disciplines et l'évolution constante et rapide des savoirs sont au cœur même de cette première partie. Ensuite, dans le deuxième chapitre, les travaux issus de la psychologie cognitive et ceux de la didactique auront conduit à l'identification d'indicateurs et à une typologie des connaissances agissant comme cadre de référence et pouvant apporter un éclairage nouveau à la compréhension du transfert.

L'objectif général de cette thèse s'énonce ainsi : mieux comprendre le processus de transfert chez des élèves du secondaire en sciences. Les objectifs spécifiques poursuivis sont : 1) de vérifier la pertinence des indicateurs caractérisant les élèves qui effectuent ou non des transferts, 2) de comprendre les différences (capacités) entre les élèves qui établissent des liens et ceux qui éprouvent des difficultés à le faire et 3) de dégager des profils individuels en matière de transfert.

Pour mieux préciser les objectifs poursuivis dans cette thèse, voici leur reformulation sous forme de questions auxquelles nous voulons répondre au terme de cette recherche.

1. Quels indicateurs semblent le mieux caractériser les manifestations d'un transfert chez des élèves du secondaire?
2. Quelles caractéristiques possèdent un élève qui établit des liens?
3. Qu'est-ce qui caractérise un élève qui transfère?

CHAPITRE III

LA METHODOLOGIE

Le concept de transfert est abordé, dans la documentation consultée, selon divers domaines : en psychanalyse, en psychologie cognitive, en pédagogie, en alphabétisation, en formation en entreprise, etc. Dans cette étude, il est considéré dans une perspective didactique de l'apprentissage, car nous pensons pouvoir identifier, à travers une résolution de problèmes, des manifestations du transfert qui tiennent compte des différences individuelles.

Cette recherche de nature exploratoire vise à mieux saisir ce qui se passe dans la tête de l'élève au moment où il est placé devant un problème à résoudre pouvant donner lieu à des transferts. L'intérêt pour des problèmes d'apprentissage constitue un défi de taille, car il s'avère difficile de cerner le fonctionnement des structures cognitives de l'individu en situation de transfert potentiel.

Le présent chapitre est consacré à la méthodologie utilisée dans cette recherche. Nous y définirons, à cette occasion, les indicateurs choisis. L'option méthodologique retenue privilégie l'approche qualitative à cause des limites méthodologiques que semblent receler des approches quantitatives sur la question. Par exemple, Van der Maren (1995) affirme, à ce sujet, que les données quantitatives sont certes indispensables, notamment pour mesurer certains comportements, mais demeurent insuffisantes en éducation, puisqu'elles n'expliquent pas pourquoi ces comportements surviennent. L'auteur précise d'ailleurs que l'approche qualitative permet d'analyser plus en profondeur les processus sociaux et individuels dans lesquels s'insèrent des choix ou des décisions. Ainsi, l'approche méthodologique

qualitative vise l'obtention de données pouvant conduire, pensons-nous, à une meilleure compréhension du processus de transfert en sciences.

Les pages qui vont suivre ont pour objet de présenter la méthodologie retenue pour l'investigation dans les milieux scolaires et les étapes analytiques. La première partie, consacrée au type de recherche et au postulat avancé, est suivie d'une brève description de la population et des outils de collecte de données. La seconde partie présente l'étude incluant, notamment, l'épreuve à laquelle ont été soumis les élèves des cinq groupes et l'entretien semi-structuré pour quelques sujets. Cette partie se termine par une synthèse du type d'analyses effectuées.

3.1 Type de recherche et mode d'investigation

3.1.1 Dispositif méthodologique

Au Québec, les recherches ainsi que les nombreuses publications (Brouillette, 2002; Forcier et Goulet, 1996; Laliberté, 1995a; Moffet, 1995; Morissette, 2002; Tardif, 1999; Tardif et Presseau, 1998) relevant de pratiques pédagogiques mettant en relief l'importance du transfert, ne font malheureusement pas (ou peu) mention des caractéristiques individuelles nécessaires à son élaboration. De plus, notre revue de la documentation laisse transparaître un intérêt marqué pour la recherche dans le champ de la psychologie (Bastien, 1987; 1997; Cauzinille-Marmèche et Weil-Barais, 1989; Cauzinille-Marmèche, 1991; Ghiglione et Richard, 1995; Richard *et al.*, 1990; Richard, 1994b) et peu dans celui de la didactique.

Les orientations méthodologiques d'une étude dépendent de la nature des données à recueillir et des buts à atteindre. L'absence d'outils pertinents à notre recherche nous a amené à nous inspirer de la psychologie cognitive pour élaborer nos propres instruments de mesure, espérant ainsi en tirer des conclusions quant au potentiel individuel en matière de transfert.

Pour bien comprendre le processus de transfert chez les sujets lors de la résolution de problèmes, nous avons recouru à une épreuve et à un entretien. Dans une telle recherche, il s'agit de bien saisir les différentes composantes influençant ou non l'amorce du processus. L'épreuve a pour fonction de récolter les données de base et de faciliter la sélection des sujets pour l'entretien. L'épreuve écrite offre l'avantage de fournir des renseignements sur un grand nombre de sujets, mais ces renseignements doivent être complétés par des données que l'on obtient au moyen de techniques particulières de collecte. Ces données complémentaires sont nécessaires pour approfondir, raffiner et confirmer les conceptions et les raisonnements mis en évidence à partir du premier outil.

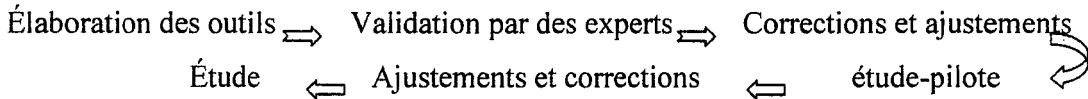
L'entretien individuel semi-structuré complète la collecte de données. Pour ce type d'entretien, le chercheur trace au préalable les grandes lignes de l'interview en fonction d'un cadre de référence précis. Il procède à une certaine anticipation des réponses qui pourraient survenir et orienter le déroulement de l'entretien.

3.1.2 Mise à l'essai des instruments

Ces outils ont été mis à l'épreuve lors d'une étude pilote à l'automne 1999. Il s'agissait de tester :

- la rigueur;
- le temps alloué;
- la clarté des consignes prévues;
- la pertinence des questions proposées;
- la procédure de sélection des sujets telle qu'elle est prévue.

Cette opération de validation des outils s'est déroulée sur quelques mois selon la procédure résumée ci-dessous :



Nous voulions ainsi connaître, la quantité et la qualité des renseignements recueillis par l'épreuve, le débit des entretiens, de même que la variance entre les réponses des élèves provenant des divers groupes-écoles.

3.2 Procédure pour l'étude pilote

L'élaboration d'un nouvel instrument permet de valider rigoureusement et précisément les indicateurs à l'étude. La préparation d'une étude préalable pour la

vérification des instruments est essentielle à la démarche de recherche, surtout lorsqu'il s'agit d'outils nouvellement construits.

L'ébauche initiale de l'épreuve et du guide d'entretien a été réalisée à partir des écrits consultés en psychologie et raffinée dans une perspective plus didactique. Certains problèmes ou questions ont été adaptés à partir d'études antérieures. À titre d'exemple, les problèmes de rayonnement (nos 4 et 7 dans l'épreuve) ont été élaborés et utilisés pour la première fois par Duncker (1945, dans Sander 2000) et repris dans plusieurs autres études dont celle de Cauzinille-Marmèche (1991). Pour l'occasion, nous les avons adaptés au contexte québécois. Le problème E (les cartouches d'encre) tire son origine des recherches de Bastien (1987). Peu importe le problème, il reste que la structure d'origine est demeurée la même. Tandis que d'autres ont été élaborés spécialement en fonction des objectifs visés par notre étude.

La construction de l'épreuve a nécessité deux versions. Il s'agissait de préciser les thématiques étudiées, de soigner le libellé des questions, d'adapter les problèmes à résoudre et de déterminer leur nombre. Différentes formes ont été utilisées : questions ouvertes, résolution de problèmes et association de questions.

Une première version de l'épreuve a été administrée à un groupe de 11 élèves. Cette version a servi à vérifier les procédures envisagées pour la passation. Afin de perfectionner les items en fonction des non-réponses, des difficultés rencontrées et des hésitations observées lors de la passation de l'épreuve, les sujets possédaient les mêmes caractéristiques (même cycle, même groupe d'âges, etc.) que ceux de l'étude.

Cette étude pilote s'est déroulée à l'école secondaire Paul-Le Jeune de Saint-Tite (Région de Mékinac). Une fois l'opération de validation complétée, une première analyse des épreuves a été effectuée afin de faciliter la sélection des sujets pour la poursuite des entretiens. Ce choix est dû au fait que le chercheur travaillait dans ce milieu au moment de l'étude incluant notamment la phase pilote de l'étude. Selon Lincoln et Guba (1981), une présence prolongée du chercheur sur le site de recherche permet à ce dernier de mieux s'immerger dans la réalité quotidienne de groupe à l'intérieur duquel la recherche se déroule.

Sur les onze élèves ayant répondu à l'épreuve, quatre ont été invités à participer à l'entretien. Cette procédure visant à valider le guide et le questionnaire d'entretien et à évaluer les qualités de l'instrument est essentielle. À la suite des résultats obtenus, nous avons procédé à une analyse sommaire. Cette analyse a suscité des ajustements à la version finale. Les entretiens et les grilles d'analyse ont été raffinées à partir du premier codage des comptes rendus intégraux.

Puisque l'entretien semi-structuré joue un rôle de premier plan dans cette recherche, nous avons jugé nécessaire de faire une étude pilote afin de nous familiariser avec cette technique, d'identifier des problèmes de compréhension de la part des sujets, de tester quelques problèmes et de faire des ajustements à l'organisation matérielle (l'utilisation de la calculatrice, le fonctionnement du magnétophone, la durée et la présentation des questions). Ces entretiens devaient également nous aider à finaliser la mise en forme du protocole pour les problèmes soumis aux sujets interviewés et à réaménager au besoin l'ordre des questions. Certains, dont Lincoln et Guba (1985), Denzin et Lincoln (1994), Miles et Huberman (1994), suggèrent au chercheur d'effectuer des entretiens pilotes et de les analyser. En s'y appuyant, le chercheur peut ainsi restructurer de nouvelles questions. Il pourra

aussi s'inspirer de ce nouveau savoir pour la conduite d'entretiens ultérieurs (Boutin, 1997), ce à quoi nous adhérons.

Pour compléter le processus de validation, deux experts qualifiés, professeurs universitaires, ont été consultés. Nous leur avons demandé de répondre à certaines de nos interrogations concernant, entre autres, la difficulté des problèmes à résoudre, la pertinence des questions, la durée, et ce, tant pour l'épreuve que pour l'entretien (appendice C). On trouvera dans les pages qui suivent une description complète de l'épreuve, du protocole d'entretien, et de la manière dont nous les avons utilisés aux fins de la recherche.

L'épreuve est composée d'une série de huit problèmes intégrant les trois concepts mathématiques à l'étude (le taux de variation, la relation de Pythagore et les proportions). Chaque problème est contextualisé principalement en mathématiques, en sciences ou en tout autre domaine lié ou non à la vie scolaire. Ainsi, un problème comporte des questions très semblables à celles que les élèves rencontrent dans leurs cours. Pour Kaniel (2001), il est important d'étudier le transfert dans des conditions naturelles et authentiques.

Quant à l'entretien, il débute par une série de questions ouvertes sur l'école. Ces questions constituent l'armature de notre protocole. D'autres questions nous ont servi à mieux scruter le processus de résolution de problèmes (RDP). Une fois cette armature établie, des sous-questions ont été prévues afin d'aider, au besoin, les élèves à expliciter leurs procédures ou raisonnements. Nous visions surtout une mise à jour de certains éléments du processus de transfert en situation de RDP. Ces sous-questions varient quelque peu, mais se résument le plus souvent à des interrogations

du genre : « Peux-tu me décrire comment tu as fait? » Ajoutons que l'entretien se voulait semi-structuré, le chercheur conservant le loisir d'ajouter d'autres questions ou sous-questions d'éclaircissement si nécessaire.

3.3 Postulat de recherche

Pour la présente recherche, nous partons du postulat selon lequel il existerait des différences perceptibles et vérifiables entre les élèves d'un même niveau scolaire quant à leur capacité à effectuer du transfert lors de situations de résolution de problèmes. Nous avançons la proposition que le transfert s'effectue à des degrés différents et qu'il pourrait être davantage utilisé par certains élèves que par d'autres pour les raisons évoquées précédemment (chapitre 2). Les écrits de Lazear (1994) ont été une source d'inspiration et de référence (tableau 3.2) pour arriver au postulat selon lequel il est possible d'identifier une hiérarchie dans les manifestations d'un transfert.

Dans la typologie retenue par cet auteur, cinq niveaux de transféreurs seraient identifiables, allant du moins habile (niveau 1) au meilleur (niveau 5).

Tableau 3.2 : Différents niveaux de transfert et énoncés typiques selon Fogarty (1987, cité dans Lazear, 1994)

Nom (niveau de transfert)	Description	Énoncés types
Dormeur (niveau 1)	Ne comprend pas le but de ce qui est étudié; ne voit pas de connections ou d'usages possibles de l'information transmise durant la leçon. (Ne fait pas de transfert)	Pourquoi doit-on apprendre toutes ces choses?
Duplicateur (niveau 2)	Est intéressé par ce qu'il a appris durant la leçon et veut en parler aux autres dans les termes exacts et de la même façon que cela lui a été présenté.	Est-ce que je peux avoir une copie de votre transparent ou du corrigé?
Réplicateur (niveau 3)	Comprend les applications de ce qui a été appris à la condition que le contexte et la situation du sujet soient les mêmes que dans la situation d'apprentissage originale.	Je comprends à l'école, mais lorsque je suis à l'extérieur de celle-ci, eh bien, il en va autrement...
Stratégiste (niveau 4)	Prend l'information tirée d'une leçon ou de quoi que ce soit appris dans la classe et l'utilise dans des situations ou des cadres différents.	Je suis capable de voir plusieurs utilités à ce que j'ai appris dans le cours d'aujourd'hui...
Créateur (niveau 5)	Utilise l'information de la leçon comme tremplin à la pensée originale et créative; perçoit des connections et des schémas inhabituels dans l'information.	J'ai pensé à ce que j'ai étudié hier et il semble que j'ai de nouvelles idées par rapport à ce sujet...

Traduction libre. Adapté de Lazear, 1994

Notons que notre but n'est pas de catégoriser les élèves selon une taxonomie en particulier, mais bien d'essayer d'identifier les caractéristiques permettant de distinguer entre ceux qui peuvent transférer et ceux qui n'y arrivent pas ou qui y arrivent peu.

3.4 Opérationnalisation et validation des indicateurs retenus

L'utilisation d'indicateurs est limitée par la complexité de l'étude des processus cognitifs qui se déroulent dans la structure mentale de l'individu en situations de résolution de problèmes (apprentissage). Mais elle s'est révélé un moyen intéressant pour arriver à comprendre le processus, c'est-à-dire à mieux saisir les différences individuelles en matière de capacité de transfert. Le transfert étant difficilement observable et mesurable, les indicateurs sont limités à des indices de la manifestation ou de la présence d'un transfert. Dans l'épreuve, les indicateurs choisis ont une influence sur l'élaboration des items.

Pour le chercheur, les indicateurs constituent une appréciation objective de certains comportements. C'est au niveau des réponses des sujets que pourra être inférée l'existence d'un transfert. Pour y arriver, et conformément à nos objectifs, nous prenons en compte les quatre indicateurs suivants : la similarité de structure et de surface, les bases de connaissance, l'organisation des connaissances et le contexte du problème à résoudre.

L'indicateur est d'abord et avant tout un informateur. Il renseigne sur ce que nous examinons (Gaudreau, 2001). L'indicateur qualitatif décrit ou interprète l'événement ou la chose observée, même s'il peut s'appuyer sur des chiffres. Dans cette recherche, nous avons retenu quatre concepts pouvant expliquer, du moins en partie, le processus de transfert ici défini comme un indice d'un objet, une concrétisation du concept par lequel nous attribuons des traits de transfert. Par conséquent et comme le souligne Guay (1991), il peut exister plusieurs indicateurs pour une même variable ou dimension.

Sans entrer dans les détails méthodologiques, voici succinctement ce qu'on attend, généralement, d'un bon indicateur :

- la pertinence : l'indicateur doit se rapporter aux objectifs-clés et aux activités essentielles dont il est censé rendre compte;
- la fidélité : l'indicateur doit produire des résultats constants lorsqu'il est appliqué de façon répétée à un même situation;
- la validité : l'indicateur doit représenter fidèlement ce qu'il veut représenter, c'est-à-dire tous les aspects du concept qu'il mesure. Mace (1988, p. 54) suggère toutefois que la validité est parfois difficile à établir, car elle repose le plus souvent sur un jugement de valeur;
- l'uniformité : l'indicateur doit être défini pour permettre des comparaisons à long terme;
- la comparabilité : l'indicateur devrait pouvoir se prêter à une comparaison et être conforme aux autres mesures utilisées (Conseil de la science et de la technologie, 1994; Gaudreau, 2001).

De plus, Gaudreau (2001) ajoute la fiabilité (capacité de l'indicateur de produire les mêmes données), la capacité à résister à l'usage, c'est-à-dire la robustesse et la sensibilité.

La qualité des indicateurs a été évaluée lors de l'étude pilote à l'automne 1999. Pour nous, l'utilisation de l'indicateur permet d'identifier des traces d'un transfert potentiel.

Dans notre étude, un des critères de sélection des indicateurs a été leur utilisation fréquente dans le cadre de recherches antérieures, notamment en psychologie cognitive. Il est difficile, voire impossible, de concevoir un modèle d'indicateurs universels et définitifs permettant de mesurer et de comparer les diverses subtilités et conceptions du transfert de connaissances. Par ailleurs, la recension des écrits permet d'espérer que les indicateurs retenus souscrivent aux visées de la recherche.

L'opérationnalisation des indicateurs (tableau 3.3) est une tâche délicate dans la préparation d'outils de collecte de données dans une recherche. Dans l'élaboration de l'épreuve, chaque indicateur a été soigneusement associé à une ou à plusieurs questions. Nous voulions ainsi répondre à des critères de validité et de pertinence. Le tableau qui suit présente le résultat de cette opération qui consistait d'une part à lier un indicateur à une ou plusieurs questions et d'autre part à anticiper les résultats pour chacune d'elles.

Tableau 3.3 : Opérationnalisation des indicateurs retenus

Indicateurs	Élaboration des questions	Résultat escompté... Vérification de ... Manifestation de...
Similitude (de surface et de structure) ou Isomorphisme	- Questions similaires au niveau de l'habillage et de la structure; - Ordre des questions.	- S'intéresse ou non à l'habillage; - Capacité de faire des liens entre les questions.
Bases de connaissance ou connaissances antérieures	- Questions nécessitant l'utilisation de connaissances antérieures (1 ^{re} à 4 ^e secondaire).	- Utilisation de ses connaissances et résolution de certains problèmes.
Organisation des connaissances	- Questions dont la solution nécessite plusieurs étapes.	- Capacité ou non à organiser sa réponse.
Contexte du problème	- Questions contextualisées à l'école (en mathématiques ou en sciences); - Questions hors contexte scolaire.	- Capacité à résoudre un problème peu importe le contexte; - Capacité d'établir des liens entre les différentes disciplines scolaires, entre l'école et la vie quotidienne, etc.

Afin de bien distinguer chacun des indicateurs retenus, nous tenterons, dans la prochaine section, de les définir en fonction des questions posées dans l'épreuve ou au cours de l'entretien. Les quatre indicateurs retenus sont, rappelons-le : la similitude, les bases de connaissance, l'organisation des connaissances et le contexte.

3.4.1 Similitude de surface et de profondeur

Pour Gick et Holyoak (1987), un aspect important des conditions de récupération en mémoire est la similarité, chez l'élève, de la représentation mentale de la tâche d'entraînement et de la tâche transférée. La « quantité » de transfert dépend donc du degré de similarité entre les deux tâches et de son effet (positif ou négatif). Elle peut être influencée par la similarité des deux réponses (Mongrain et Besançon, 1995). Pour Johsua et Dupin (1993), un élève doué utilisera des principes de physique (traits de profondeur) pour résoudre un problème alors que les autres s'appuieront sur des traits de surface ou un mélange des deux.

Différents problèmes ont été élaborés ou simplement adaptés de la littérature. Chacun d'eux est représenté par un problème isomorphe, c'est-à-dire un problème touchant un même concept dans un contexte de mathématiques et dans un contexte de sciences physiques. Certains problèmes sont similaires en surface, d'autres le sont au niveau de la structure. Ainsi, les trois concepts mathématiques, c'est-à-dire le taux de variation, les proportions et le théorème de Pythagore, sont placés en contextes mathématiques et scientifiques. Six problèmes ont été retenus qui comportent des concepts énoncés ci-dessus et deux problèmes ont été jugés « hors contexte scolaire » parce qu'ils ne nécessitent pas de connaissances scolaires préalables pour y répondre. L'expérience de vie et la logique suffisent souvent pour pouvoir y répondre (tableau 3.4).

Tableau 3.4 : Grille d'élaboration des questions de l'épreuve

	Indicateurs		Organisation des connaissances	Contexte	
	Similitude	Bases de connaissance			
Concepts				Math.	Sciences
Tv (2)	P.6	P.1	a	b	P.6 P.1
Py (2)	P.3	P.5	a	b	P.3 P.5
Pr (2)	P.8	P.2	a	b	P.8 P.2
					<i>Hors contexte scolaire</i>
Autre concept (2)	P.4	P.7	a	b	P.4 P.7

Légende

Tv : correspond au taux de variation

Py : correspond au théorème de Pythagore

Pr : correspond à la règle des proportions

Pour chaque indicateur, deux questions se rapportent au concept ().

La lettre P suivie d'un chiffre identifie le problème.

La lettre minuscule correspond à une sous-question se rapportant à l'indicateur.

Note : les sous-questions c et d sont également présentes pour chacun des problèmes. De plus, cette évaluation ne porte pas sur tout le programme d'enseignement des mathématiques au secondaire. Nous n'avons retenu que trois domaines mathématiques, à savoir le taux de variation, le théorème de Pythagore et les proportions.

Le premier concept, celui du taux de variation, a été retenu pour trois raisons : il est très utilisé en mathématiques et en sciences, dont les sciences physiques de quatrième secondaire. Aussi le taux de variation est étudié depuis la troisième secondaire et représente pour nous une connaissance de base intéressante; son utilité à l'extérieur de l'école est relativement facile à illustrer (pensons notamment aux graphiques de toutes sortes trouvés dans les journaux).

Le second concept, sur le théorème de Pythagore est très exploité dans le programme de mathématiques depuis la troisième secondaire. Son utilité à l'extérieur de l'école est toutefois plus difficile à établir (exemple : la règle du 3, 4, 5 en construction), mais bien existante. Conséquemment, ses applications en sciences, du moins pour le niveau secondaire, sont tout de même assez limitées.

Le troisième concept retenu est celui des proportions. Leur utilisation à l'extérieur de l'école n'est plus à justifier. Qu'il s'agisse de préparer des recettes (par exemple, la quantité de sucre et la quantité de fraises dans un dessert) ou de procéder à des achats, les proportions sont d'une grande nécessité pour le citoyen ordinaire, au travail comme à la maison. Notons également que l'utilisation des proportions en mathématiques et en sciences, dont les sciences physiques de quatrième secondaire, est à considérer. Soulignons que les problèmes de proportionnalité sont également utilisés dans les études de l'AIE (Association internationale pour l'évaluation de l'enseignement). L'homomorphisme supposé des trois concepts à l'étude devrait pouvoir se traduire dans le cadre des mathématiques et des sciences physiques.

La plupart des problèmes proposés dans la présente recherche sont du type de ceux que l'on rencontre dans les manuels scolaires et dans les écoles secondaires québécoises. Nous avons choisi ces problèmes parce qu'ils présentaient à nos yeux une certaine accessibilité relativement au décodage — absence de difficultés majeures de langage — et quant aux possibilités de trouver une solution. Dans l'ensemble, on considère que le contexte est familier aux élèves, leur assurant ainsi une certaine aisance et un sentiment de sécurité proportionnellement aux possibilités de s'impliquer dans une démarche de résolution de problèmes. Rappelons que notre intention est davantage orientée vers la vérification de la capacité à transférer que sur la confirmation de la solution à un problème.

Le facteur d'authenticité des contextes utilisés dans les problèmes a également influencé notre choix. En somme, un contexte est soit un cadre dans lequel une structure mathématique est déjà insérée (cadre intramathématique), soit un cadre qui se prête à l'activation d'un tel complexe (structure) qui s'insère alors dans ce contexte extramathématique (OCDE/PISA, 1999).

Les problèmes ont été placés dans les deux instruments élaborés pour cette recherche. Ils sont présentés à l'intérieur de la section décrivant chacun de ces instruments.

3.4.2 Bases de connaissance ou connaissances antérieures

L'expression « connaissances antérieures » utilisée ci-dessus fait référence aux connaissances que l'élève possède au moment de commencer la résolution d'un problème. Or, l'apprentissage est essentiellement l'établissement de liens associatifs entre de nouvelles données et les connaissances antérieures, d'où l'intérêt de cet indicateur. Pour Gagné (1985), le transfert se produit lors de l'activation et de l'application de connaissances antérieures à de nouvelles situations.

L'épreuve écrite ayant été soumise à des élèves de quatrième secondaire, une grande importance est accordée aux connaissances antérieures. Pour résoudre les problèmes, les sujets doivent prendre appui sur leurs bases de connaissance dans les domaines étudiés, en l'occurrence les mathématiques et les sciences. Toutefois, il ne

s'agit pas de connaissances spécifiques, mais bien de principes généraux ou de notions vues à plusieurs reprises au cours des études secondaires (tableau 3.5).

3.4.3 Organisation des connaissances

Les connaissances antérieures ainsi que la façon dont elles ont été structurées dans la mémoire à long terme déterminent ce qui, dans l'étude d'un thème, est compris et appris (Schmidt, 1983). Le rappel d'un apprentissage vient donc réactiver toute l'organisation et la structuration du réseau sémantique permettant par là-même une récupération ou un recouvrement facile de l'apprentissage.

Ausubel (1967; 1970) décrit l'organisme humain comme un système de traitement et d'emmagasinage d'information. Des connaissances nouvelles viennent se greffer sur les notions déjà en place. L'idée nouvelle est retenue si elle s'apparente aux connaissances déjà acquises par l'individu. Pour Ausubel, le concept d'ancrage de notions nouvelles sur des connaissances déjà en place est très important. Les structures cognitives et conceptuelles sont modifiées par l'intégration (ancrage) de matériel nouveau à la structure conceptuelle déjà en place (Forget, Otis et Leduc, 1988).

À travers les réponses fournies par les sujets, nous pensons vérifier si l'organisation des connaissances influence le transfert chez ceux-ci. Nous nous appuierons sur la démarche fournie dans l'épreuve (sous-question b), dans l'entretien (section 3) et les commentaires recueillis (réponses aux questions) lors de l'entretien.

3.4.4 Contexte du problème

Plusieurs auteurs, dont Tardif et Meirieu (1996; 1999), Tardif (1997; 1999) accordent de l'importance au contexte. Pour sa part, Royer (1979) s'intéresse au contexte environnemental dans lequel le transfert se produit. Il utilise l'expression « transfert rapproché » pour désigner le transfert d'un événement d'apprentissage à l'école (Mongrain et Besançon, 1995). Le contexte peut alors se définir selon les finalités visées. Le contexte implique d'une part, les disciplines scolaires à l'étude et d'autre part, les situations diverses de la vie quotidienne.

Nous utilisons des mises en situation appelés « problème » que nous jugeons contextualisées et décontextualisées à l'école, pour reprendre les expressions de Tardif (1999). Ainsi, six problèmes sont contextualisés, dont trois en mathématiques et trois en sciences physiques. Les deux autres sont considérés comme étant « hors contexte scolaire » parce qu'il faut des connaissances générales pour résoudre les problèmes qu'ils posent. La section trois du guide de l'entretien, quant à elle, contient six problèmes, chacun comportant une correspondance, scolaire ou non, avec un problème de l'épreuve. Le contexte sémantique, qui sert à définir le problème, diffère quelque peu selon le problème ou l'outil.

Le contexte sémantique qui caractérise un problème donné a un rôle important dans la construction de la représentation. C'est lui qui, par le biais des processus d'interprétation, de sélection et de structuration, permet d'accéder aux informations pertinentes pour la mise en place de cette représentation. On parle « d'effet de contexte » pour désigner l'influence que peut avoir une variation de ce contexte sémantique sur la résolution du problème (Julo, 1995, p. 113).

3.5 Élaboration des outils

3.5.1 Composition de l'épreuve

Des recherches en psychologie cognitive ont largement inspiré la construction de l'épreuve utilisée. Des sujets tels le traitement de l'information, le fonctionnement de la mémoire, le rôle des connaissances antérieures, la typologie des connaissances et la résolution de problèmes furent au centre de nos préoccupations pendant l'élaboration de l'outil. D'ailleurs, la résolution de problèmes a été retenue comme moyen pour faire émerger des signes de transfert et ce, principalement pour quatre raisons : 1) selon Fillon (1992), la RDP constitue une autre manière de placer les élèves en situation d'apprentissage et de raisonnement scientifique; 2) cette procédure est encore très utilisée en mathématiques (MEQ, 1999; 2001a; 2003) et en sciences dans nos écoles ou lors d'enquêtes nationales ou internationales visant à évaluer le rendement des élèves; 3) depuis quelques décennies (Dumas-Carré, Goffard et Gil, 1992; Mason, Shell et Crawley, 1997) la RDP est utilisée en recherche, principalement en éducation où l'étude sur le terrain est privilégiée; 4) des études sur le transfert ont exploité la RDP et obtenu des résultats intéressants (Bastien, 1987; Bastien-Toniazzo *et al.*, 1997; Richard, 1994a).

D'autres chercheurs (Royer, Cisero et Carlo, 1993; Woodward, Carnine et Gersten, 1988), cependant, ont opté pour la résolution de problèmes assistée par ordinateur. Comme nous voulons demeurer le plus près possible des situations les plus courantes rencontrées et vécues dans les écoles du Québec, nous avons opté pour une procédure du type papier-crayon, l'ordinateur pouvant constituer, soit un « handicap » pour certains élèves, soit un « artefact » dans la prise des données.

D'autre part, soulignons que le manque d'équipements nécessaires à une telle procédure a également contribué à déterminer notre choix.

Les quelques recherches inventoriées traitant du transfert selon une perspective didactique, de même que la recension des écrits sur les instruments de mesure propres au transfert des concepts mathématiques en sciences, nous ont amené, pour les fins de la recherche, à élaborer un nouvel instrument que nous avons intitulé *Épreuve de connaissances et d'habiletés mathématiques et scientifiques*. L'épreuve compte 20 pages (appendice F) en format cahier (double page) dont :

- la première page servait à l'identification des sujets et à l'énumération des objectifs de la recherche;
- les pages deux et trois présentaient un modèle de réponses possibles, celui de la tarte au citron, afin de guider les sujets quant au style de réponses attendu et de les inciter à compléter toutes les cases (réponses aux questions) de l'épreuve;
- les pages quatre à dix-neuf constituaient le corps même de l'épreuve, inspiré de Bernardo (1998) : « *each transfer-test problem was typed on a separate sheet, with the problem on the top portion, and the rest of the page left blank for the solutions* ».

L'épreuve écrite est composée de huit problèmes comportant chacun six sous-questions. Un aide-mémoire la complète (page 20) afin (pour éviter qu'une connaissance *ad hoc* nuise) d'aider l'élève dans sa démarche de résolution de problèmes. Le contenu de « l'aide-mémoire » varie, allant des formules mathématiques et scientifiques aux définitions de certains concepts.

L'épreuve proposée a été conçue de manière à assurer une bonne représentativité de chaque indicateur. Aussi, plusieurs items (voir tableau 3.4) peuvent être utilisés pour vérifier la manifestation d'un indicateur. Des problèmes contextualisés ont été élaborés pour les besoins de l'épreuve. Un rapprochement peut être fait entre les problèmes posés et les divers champs disciplinaires mathématiques et scientifiques. Les autres problèmes appelés « hors contexte scolaire » sont, pour la plupart, adaptés de la littérature et inspirés des publications de certains auteurs dont celles de Bernardo (1998), de Bastien (1987; 1997), de Bastien-Tonazzzo, Blaye et Cayol, (1997) et de Richard (1994a).

L'épreuve représente un outil intéressant de collecte de données pour évaluer la présence de certaines caractéristiques cognitives chez une personne. Dans un premier temps, l'épreuve sert à établir une sorte de diagnostic des élèves à l'entretien. En effet, des élèves, présentant ou non un profil de transféreurs, sont invités à l'entretien. Dans un deuxième temps, les données amassées conduisent à une première classification quant à l'apport des indicateurs en tant qu'outils d'identification du transfert et de support à la résolution de problèmes.

Les épreuves sont des instruments d'évaluation fréquemment utilisés en expérimentation (Angers, 1996). Elles permettent de relever certaines façons de faire chez des sujets. Pour nous, il s'agit d'une épreuve composée de problèmes à résoudre et de questions supplémentaires suscitant l'émergence de certaines conceptions.

3.5.2 Composition du protocole d'entretien

Pour assurer le bon déroulement de l'entretien et une présentation uniforme (Angers, 1996), un protocole d'entretien a été préparé (voir appendice G). Le guide se présente sous la forme d'un document écrit évoquant des points importants avec le sujet sur des problèmes proposés ou des questions posées lors de l'épreuve. Il a pour fonction d'aider le chercheur à découvrir ce qu'il ignore. Il doit donc être bien centré sur la problématique et articuler les questions sur les objectifs visés. Le guide vient également appuyer le chercheur dans ses efforts de recentrage si les propos de l'élève interviewé s'éloignent trop de la problématique. Il permet enfin de s'assurer d'une validité interne certaine.

Suite de la validation par sept experts (appendices C-deux professeurs universitaires et D-cinq enseignants du secondaire), des corrections ont été apportées à la forme définitive du guide d'entretien. Celui-ci compte 11 pages incluant notamment quatre sections pour les questions. La première page sert à l'identification des sujets et contient les renseignements essentiels et les directives. La seconde page (section 1), renferme une série de questions ouvertes portant sur l'école. Les questions sont du genre : « Peux-tu m'expliquer ta façon d'étudier ou de faire tes devoirs? Est-ce que les mathématiques s'étudient? Et les sciences? » En page 3 (section 2) on fait une sorte de retour sur l'épreuve administrée le mois précédent l'entretien. On y retrouve des questions telles que : « À la question C, on te demandait de faire des liens avec d'autres situations rencontrées... ». À la page 4, on demande aux élèves de classer, à l'aide d'un diagramme fourni à cet effet, les problèmes de l'épreuve selon qu'ils sont davantage associés aux mathématiques, aux sciences ou à la catégorie hors contexte scolaire. La section 3 (pages 5 à 10), propose six problèmes à résoudre. La quatrième et dernière section du guide renferme trois questions. Il s'agit de questions visant à faire émerger des similitudes ou à établir des

liens entre les problèmes du même outil (épreuve ou entretien) ou entre des problèmes provenant des deux outils (épreuve et entretien).

Chaque problème était présenté de la même façon. On retrouvait l'énoncé du problème en haut de la feuille et des espaces étaient réservés pour que le sujet y inscrive ses réponses. Une fois terminé, le sujet devait remettre au chercheur la feuille contenant sa solution. Il en recevait alors une nouvelle. Chaque sujet disposait du temps nécessaire. Il pouvait refuser de faire le problème ou abandonner à tout moment. En moyenne, deux à trois minutes par problème étaient consacrées à la recherche de solution.

Le premier problème propose un balancement d'équation où le sujet doit se prononcer à savoir si l'équation est correctement balancée. Par la suite il devait répondre à la question suivante : « Un élève affirme que ce genre de problème ressemble drôlement à des mathématiques. Et toi, qu'en penses-tu? Peux-tu m'illustrer ton point de vue? » Le second problème exige du sujet qu'il élabore un problème de sciences en y intégrant un des concepts mathématiques à l'étude, qu'il trouve la solution (démarche) et la réponse finale. Le troisième problème présente un tableau de données (valeurs) avec son équation ($k = 3t + 9$). Dans un premier temps, le sujet doit compléter puis tracer le graphique de la fonction. Le schéma d'un circuit électrique comportant deux résistors en série fait donc l'objet de la quatrième question. Il s'agit de trouver le courant total, le courant circulant dans la résistance R_1 , dans la résistance R_2 ainsi que la conductance (G) du circuit. Le problème E en est un de cartouches d'encre pour une imprimante d'ordinateur. Trois cartouches sont proposées, chacune d'elles étant associée à un prix et au nombre de pages qu'elle peut imprimer. Le sujet doit trouver celle qui représente le meilleur rapport « qualité-

prix ». Finalement, au problème F, l'élève est invité à calculer la hauteur d'un édifice à partir de données formant un triangle rectangle avec le sol.

Tableau 3.5 : Présentation des problèmes utilisés lors de l'entretien

Problème	Concepts mathématiques ou scientifiques
A) L'équation	- Balancement, proportions, molécule
B) Compose un problème	- Pente, taux de variation, proportions, relation de Pythagore
C) La relation	- Tableau de données, graphique
D) Deux résistances en série	- Intensité du courant, résistance, conductance
E) La cartouche d'encre	- Proportions, rapport, décroissant
F) La hauteur de l'édifice	- Théorème de Pythagore (par déduction), calculs

3.6 L'étude à partir de l'épreuve

3.6.1 Sélection et définition de la population à l'étude

L'épreuve proposée s'adresse à des sujets de 4^e secondaire et vise principalement les contenus des programmes de mathématiques (3^e et 4^e secondaire) et de sciences physiques (4^e secondaire) prescrits par le ministère de l'Éducation du Québec depuis le début des années 1990. Il va sans dire que les notions mathématiques et scientifiques nécessaires à la résolution des problèmes proposés sont considérées comme des connaissances de base, car elles font appel à des concepts étudiés à des niveaux inférieurs ou équivalents à la quatrième secondaire.

Pour diminuer les risques de contamination et afin d'assurer une certaine généralisation des résultats, nous avons retenus, pour réaliser nos observations, deux lieux différents : l'École secondaire Val-Mauricie (1750 élèves) et l'École secondaire Paul-Le Jeune (750 élèves), deux écoles publiques situées sur le territoire de la Commission scolaire de l'Énergie (environ 14 000 élèves) et dont le siège social est à Shawinigan.

3.6.2 Choix des sujets

La collecte des données s'est effectuée au printemps 2000 pour des raisons d'ordre pratique : validation de l'épreuve et programme suivi par les élèves. Le choix des écoles est essentiellement justifié par la présence du chercheur à titre de conseiller pédagogique dans ces milieux. L'appendice A rend compte des lettres attestant de l'autorisation de la direction générale de la Commission scolaire, alors que l'appendice B présente une copie de la demande et de l'acceptation des directions d'école concernées à conduire ladite recherche au sein de leur établissement respectif.

L'échantillon se compose de groupes qualifiés de réguliers par les autorités de l'école, c'est-à-dire de groupes dont les sujets ont un rendement scolaire inférieur ou égal à la moyenne, et de groupes dont les sujets ont un rendement scolaire supérieur à la moyenne donc enrichis. Le choix des groupes a été fait en collaboration avec la direction de chaque établissement et avec la participation des enseignants intéressés tout en respectant certaines contraintes imposées par l'horaire. Notons toutefois que c'est sur une base volontaire et suite à l'approbation des parents que les élèves ont pu participer à l'étude (se rapporter au protocole de recrutement à l'appendice E).

Notre échantillon est composé de cinq groupes d'environ 30 élèves. Afin d'éviter les biais liés au genre, la proportion de garçons et de filles dans chacun des groupes est d'environ 50 % (tableau 3.6). L'âge moyen des sujets est de 16 ans.

Tableau 3.6 : Composition de l'échantillon pour la passation de l'épreuve

Écoles (réguliers)	416	430	Total
	Groupe A 16 garçons et 8 filles	Groupe B 12 garçons et 16 filles	Groupe C* 12 garçons et 11 filles
			75 élèves
Val-Mauricie (Shawinigan-Sud)	12 garçons et 16 filles	17 garçons et 13 filles	55 élèves
Paul-Le Jeune (Saint-Tite)	Groupe E 17 garçons et 13 filles	Groupe D 17 garçons et 8 filles	55 élèves
Total	58 élèves	72 élèves	130 élèves

Note 1 : Trois enseignants sont titulaires des cinq groupes de sciences physiques.

Note 2 : * Ce groupe est constitué d'élèves de 5^e secondaire qui, pour la grande majorité, ont réussi Sciences physiques 416 au cours de l'année scolaire 1998-1999 et ont suivi Sciences physiques 430 en 1999-2000.

3.6.3 Passation de l'épreuve

Nous avons tenté de proposer des problèmes qui portent sur des concepts importants, qui sont signifiants pour l'élève, qui conduisent à de nouvelles explorations, qui sont réalistes et, surtout, pour lesquels il y a plus d'une approche ou d'une solution acceptable. Dans tous les cas, l'insistance est mise sur l'utilisation des connaissances antérieures, sur les liens à faire, sur l'organisation de l'information, sur l'utilisation de schémas pour compléter la démarche et sur la justification du choix des méthodes. Pour répondre, l'élève devait utiliser ses connaissances et ses habiletés

dans le domaine des mathématiques et des sciences physiques ainsi que celles dites générales. Les problèmes contextualisés à l'école nécessitent de la part de l'élève le choix, parmi plusieurs combinaisons qu'il a rencontrées auparavant, d'une combinaison adéquate de connaissances déjà étudiées.

Les sujets disposaient d'une cinquantaine de minutes pour résoudre les problèmes et répondre aux questions de l'épreuve, et ce, pour des raisons évidentes de logistique (la durée des cours dans chacune des écoles est de 60 minutes). Chaque sujet devait y travailler individuellement et pouvait utiliser la calculatrice.

Une fois terminées, les épreuves ont été ramassées, les comptes rendus intégraux transcrits et la correction effectuée de façon à pouvoir comparer les démarches (différentes approches) plutôt que les réponses mêmes. Nous ne cherchions pas à vérifier spécifiquement la capacité des élèves à résoudre des problèmes, mais surtout leur capacité à établir des liens et à transférer dans certains cas. Pour résumer, voici un plan de l'épreuve.

Tableau 3.7 : Synthèse des problèmes proposés à l'épreuve

Problème	Concepts mathématiques et scientifiques
1) Le système électrique	- Résistance, résistors, loi d'Ohm, pente
2) L'équation chimique	- Balancement méthode algébrique, hydrogène, eau, proportions
3) La fenêtre	- Théorème de Pythagore, angle droit, équerre, mesure
4) La réparation de l'ampoule	- Filament, soudure, rayons, logique
5) La structure cristalline	- Cube parfait, géologie, Pythagore cristal
6) Le canot	- Graphique, pente
7) La tumeur	- Tumeur, rayon, tissus sains, logique
8) Le détergent	- Rapport, quantité, masse, proportions

3.6.4 Avantages et limites

Les techniques de collecte de données choisies avaient le souci de recueillir les informations pertinentes visant l'atteinte de nos objectifs, mais aussi avec la préoccupation d'assurer la validité de cette recherche. L'examen de quelques études sur des thèmes présentant certaines similitudes avec la question du transfert montre que les chercheurs considèrent qu'aucune technique de collecte de données n'est parfaite pour explorer les processus mentaux. Chacune présente des limites. La difficulté majeure réside dans le fait que la pensée n'est pas directement accessible au chercheur et que certains adolescents éprouvent de la difficulté à exprimer leurs sentiments et leur pensée (Boutin, 1997).

L'épreuve cherche à faire ressortir des manifestations du transfert caractéristiques à chaque élève et, du même coup, à vérifier des indicateurs en relation avec notre thème à l'étude. Ces indicateurs sont évalués à partir de questions visant à faire émerger ou non des pistes de transfert sur la résolution de problèmes mathématico-scientifiques. Nous sommes conscients que l'utilisation d'un tel instrument représente un défi de taille quant à la validité et à la fidélité des résultats de cette recherche. Toutefois, notre motivation est renforcée par le fait que les résultats attendus peuvent mener à des conclusions intéressantes quant à l'apprentissage et, éventuellement, à l'enseignement des sciences au secondaire.

De prime abord, l'épreuve semble intéressante, puisqu'elle assure une certaine continuité avec ce qui est proposé à l'école. Mais comme l'épreuve n'est pas reliée à des activités scolaires antérieures officielles ou reconnues, un certain nombre de sujets ont pu manifester quelque négligence dans leur travail. De plus, il faut noter que lors de la passation, certaines des conditions n'étaient pas particulièrement favorables. À ce titre, soulignons, entre autres, le contenu scolaire vu que partiellement pour certains groupes et la fatigue de la fin de l'année scolaire. Ces conditions ont pu altérer la quantité et la qualité de l'information recueillies auprès de quelques-uns. Il est également important de noter d'autres limites liées aux caractéristiques de l'épreuve : l'importance de la durée, la dimension restreinte des cases destinées à recevoir les réponses aux questions et la présence d'un exemple visant à guider le sujet dans la façon de répondre. Ces limites sont à considérer dans l'interprétation de nos résultats.

3.6.5 Analyse des données

Il existe diverses formes d'analyse. L'approche choisie ici est plutôt éclectique. Elle fait appel à divers moyens. Ce choix s'appuie sur le fait que le transfert est utilisé de bien des façons (disciplines variées, visées différentes, etc.) et que nos intentions sont orientées vers la compréhension du phénomène plutôt que l'explication théorique ou sur des façons de faire (enseignement visant le transfert) telle que proposée par Bracke (1998) ou Presseau (1998), par exemple.

L'analyse de contenu consiste à regrouper en catégories ou en thèmes tous les énoncés qui se rejoignent par le sens. L'analyse de contenu est privilégiée, tant pour l'épreuve que pour l'entretien. Les analyses permettent de traiter de manière méthodique les données recueillies qui présentent un certain degré de profondeur et de complexité. La construction d'une grille aide à mettre en relation des éléments codifiés et la problématique soulevée par la recherche (Landry, 1992; Nadeau, 1988, cités dans Ouellette, 2000).

3.7 L'étude à partir de l'entretien semi-structuré

Un entretien est nécessaire pour comprendre des comportements impossibles à observer, tel le questionnement en résolution de problèmes, et pour recueillir des informations sur les modes de pensée, les difficultés rencontrées, etc. À travers le protocole d'entretien, l'exploration de stratégies cognitives utilisées par les sujets est permise et possible.

Boutin (1997) présente diverses typologies de l'entretien. Ces typologies sont utiles, puisqu'elles permettent de mieux saisir les particularités de ce type d'investigation. Toutefois, cette nomenclature ne répond pas aux besoins qui découlent des particularités de la présente thèse.

Dans le cadre de cette recherche, l'option retenue est celle de l'entretien semi-structuré. Habituellement, ce type d'entretien comporte des questions fermées et des questions ouvertes. L'utilisation de questions ouvertes offre l'avantage de mieux cerner les propos du sujet que l'utilisation d'un questionnaire (Lamoureux, 1995). La force d'un tel instrument est de permettre la modification de l'ordre des questions à partir du discours de l'interviewé et « ... because it was possible that some of the elementary students would be able to express their ideas much more clearly using oral rather than written communication ». (Hammond, 1990, cité dans Palmer, 1997).

L'expression « entretien semi-directif » ne devrait pas laisser croire que le chercheur ne sait pas à quelles fins il pose ses questions. Cette formulation est utilisée pour différencier ce procédé de recherche de celui qui consiste, par exemple, à administrer, un questionnaire dont toutes les questions sont préparées à l'avance (Poisson, 1990). Pour conduire l'entretien, un cadre général (appendice G) a été élaboré, mais en cours d'entretien, il a été adapté pour tenir compte des réponses des sujets à l'épreuve le mois précédent.

3.7.1 Sélection et définition de la population à l'étude

Après avoir analysé sommairement les cahiers réponses des 130 sujets ayant répondu à l'épreuve, un appel a été lancé à l'ensemble de ceux-ci. Une vingtaine de

sujets ont répondu dans l'affirmative. Pour assurer la diversité et une bonne représentativité, filles et garçons de chaque groupe et de chaque école ont été identifiés à partir des réponses fournies dans l'épreuve. Parmi la vingtaine de volontaires, 13 ont finalement accepté de poursuivre en entretien. Divers facteurs comme la chaleur, la fatigue, le degré de familiarité avec le chercheur, la contribution à une recherche peuvent avoir eu une incidence, positive ou négative, sur le nombre de participants et leur intérêt à continuer.

3.7.2 Choix des sujets

Le tableau ci-dessous présente la répartition des sujets qui ont participé à l'entretien. La classification est faite à partir de la provenance (école), du classement (régulier ou enrichi) et du sexe (fille ou garçon).

Tableau 3.8 : Répartition des sujets pour la passation de l'entretien dans chacune des écoles

École	416	430	Total/Ecole
Val-Mauricie (Shawinigan-Sud)	Groupe B Un garçon et deux filles	Groupe A un garçon et une fille Groupe C* deux garçons et trois filles	4 garçons et 6 filles
Paul-Le Jeune (Saint-Tite)	Groupe E Un garçon et une fille	Groupe D Un garçon	2 garçons et 1 fille
Total	2 garçons et 3 filles	4 garçons et 4 filles	13 élèves dont six garçons et sept filles

Note : * Ce groupe est constitué d'élèves de 5^e secondaire qui, pour la grande majorité, ont réussi les Sciences physiques 416 au cours de l'année scolaire 1998-1999 et ont suivi Sciences physiques 430 en 1999-2000.

3.7.3 Déroulement de l'entretien

Les sujets étaient invités à rencontrer le chercheur à son bureau ou dans une salle de classe. Pour la plupart, cette période se déroulait à l'heure du dîner, ou à la fin des cours vers 15 h 00. Dans de très rares cas, l'entretien s'est tenu ou poursuivi pendant une période de cours. L'entretien semi-directif incluait des problèmes à résoudre et a servi à la cueillette des données de recherche. La longueur des entretiens varie selon l'intérêt et les capacités de répondre de chaque sujet. En moyenne, la durée des entretiens était de 50 minutes.

3.7.4 Procédure de collecte de données

L'entretien a été enregistré sur cassette audio pour compléter la prise de notes. L'enregistrement permet d'entendre à nouveau le déroulement de l'entretien et évite les oubliers. Cette façon de faire n'est pas appréciée de tous les interviewés, mais permet de ne pas les interrompre pendant leur travail. Chaque entretien est analysé à partir des transcriptions de comptes rendus intégraux (nous ne travaillons que sur le verbal, la considération du gestuel étant en dehors de nos compétences!), des notes prises par le chercheur et des traces écrites laissées par le sujet. À travers les entretiens, nous espérons pouvoir dégager des profils individuels.

La verbalisation devrait être utile pour comprendre les processus mentaux des élèves. Cependant, force est de constater que ceux-ci ont de la difficulté à penser à voix haute, et encore plus, lorsqu'ils doivent résoudre un problème devant le chercheur. Nous avons donc abandonné cette idée en cours de recherche, car les élèves verbalisent très peu et il est très difficile de leur faire expliquer ce qu'ils font (Dumas-Carré *et al.*, 1992; Boutin, 1997).

Ainsi, un sujet sera jugé apte à établir des liens et à transférer s'il :

- présente une solution claire accompagnée d'un schéma et appuyée par des explications;
- démontre une bonne compréhension des concepts mathématiques et scientifiques;
- utilise toutes les informations pertinentes;
- est capable de faire des liens avec d'autres situations et va au-delà des strictes exigences du problème;
- laisse présager qu'il maîtrise certaines connaissances procédurales et conditionnelles;
- obtient plusieurs scores de 2 et de 3 selon la grille de correction qualitative (tableau 4.11).

Quant aux mauvaises réponses, il pourrait s'agir de solutions non accompagnées d'exemples, de solutions ne montrant pas que l'élève possède les connaissances requises ou, simplement, l'absence de solution, même avec exemple.

En contrepartie, un sujet sera jugé incapable (ou éprouvant des difficultés) à établir des liens et à transférer s'il :

- a réussi un nombre limité de problèmes (par exemple, trois sur une possibilité de huit), mais sans laisser voir de traces d'un transfert dans les réponses fournies;
- présente une réponse complète ou non, mais basée sur une explication confuse;
- éprouve des difficultés de compréhension au niveau des concepts mathématiques ou scientifiques;
- n'utilise pas toutes les informations pertinentes;
- élabore une solution qui comporte des erreurs et utilise des stratégies inadéquates; de plus, ses explications sont incomplètes et ses schémas manquent de clarté;
- a de la difficulté à faire des liens entre les questions jugées similaires;
- maîtrise surtout des connaissances déclaratives et peu de connaissances procédurales ou conditionnelles;
- obtient plusieurs scores de 1 et de 0 selon la grille de correction qualitative.

3.7.5 Avantages et limites

Malgré toutes les précautions prises, nous pensons qu'un entretien individuel constitue, dans une certaine mesure, un contexte artificiel qui peut influencer le comportement et les réponses d'un sujet. Pour minimiser cet effet, des facteurs tels le

choix du local, la disposition du microphone, l'entrée en matière et les entretiens exploratoires ont été considérés. À chaque entretien, le chercheur a pris soin de demander aux sujets l'autorisation de les enregistrer.

L'entretien, tout comme les épreuves, n'assure pas que les données recueillies concordent avec les comportements réels en situation de résolution de problèmes en classe ou à la maison. Le sujet exprime la façon dont il pense qu'il agirait; il est possible pour lui d'identifier des stratégies qui lui paraissent efficaces. Il peut en décrire certaines, mais rien ne garantit que ces stratégies seront effectivement activées au moment opportun. Seule l'observation en cours de tâche permet de le vérifier. Par contre, lors d'un entretien, il est possible d'avoir accès aux interprétations données par les sujets et qui peuvent expliquer plus en profondeur les observations. Il est aussi concevable de présenter ses propres interprétations ou d'en demander une validation immédiate auprès des sujets.

3.8 Modalité d'analyse

3.8.1 Analyse des données des entretiens

La très grande utilisation de l'entretien, comme instrument de recherche, rend nécessaire l'évaluation de cette technique. Il faut pour cela tenir compte de divers facteurs : la justesse des résultats obtenus, la correspondance avec la réalité, c'est-à-dire la validité au sens strict, mais aussi les possibilités d'explication ou de prévision, l'intérêt des objectifs poursuivis, la richesse et l'originalité des informations qu'il permet de recueillir (Grawitz, 1996).

Analyser et repérer des données recueillies sur le terrain est une opération qui nécessite rigueur et minutie. Les analyses prévues sont basées sur une analyse de contenu. Elles permettent de traiter méthodiquement les données recueillies présentant un certain degré de profondeur et de complexité. De façon plus spécifique, l'analyse de contenu est une technique individuelle permettant de faire une description objective, systématique et qualitative du contenu des documents (comptes rendus intégraux) (Lacasse, 1991). Comme le souligne Dagenais (1991), il s'agit d'une analyse méthodique des idées exprimées par la personne ou le groupe tout en considérant la récurrence des mots et des thèmes abordés par celle-ci ou le groupe. « L'intervieweur [...] peut se servir avec profit des outils de l'analyse de contenu pour catégoriser les réponses obtenues à des questions qui laissent une très grande liberté d'expression à l'informateur » (Angers, 1996, p. 158).

Pour atteindre nos objectifs de recherche, la démarche retenue pour l'analyse des entretiens des 13 sujets comporte les étapes suivantes :

- la transcription des entretiens;
- la lecture du matériel produit;
- la réduction ou condensation des données;
- l'opération de codage et la détermination des unités de sens;
- l'appréciation de la scientificité du codage;
- et finalement l'interprétation.

3.8.1.1 La transcription des entretiens

Afin de permettre le traitement des données et pour transposer l'expression orale des sujets en une expression écrite, les entretiens des 13 sujets ont été

retranscrits en totalité. La transcription des comptes rendus intégraux a été faite à l'aide d'un programme de traitement de texte usuel, car « ...with qualitative data one can preserve chronological flow see precisely which events led to which consequences, and derive fruitful explanations » (Miles et Huberman, 1994, p. 1). La transcription a été réalisée en tentant de rester le plus près possible de la façon dont les sujets conçoivent la réalité : une idée par paragraphe et des sous-paragraphes si l'idée est développée. Nous avons essayé de reproduire les textes intégralement (avec les fautes, les erreurs, etc.) afin de refléter le plus fidèlement possible la situation réelle. Cette façon de faire permet également de conserver toute la richesse du contexte présent lors du déroulement de l'entretien et de clarifier certains aspects lors de l'analyse de contenu. Tous les comptes rendus ont été anonymisés pour respecter les règles du code de déontologie en vigueur dans le réseau des universités du Québec. Chaque entretien a ensuite été analysé afin de sélectionner l'ensemble des énoncés illustrant un changement.

3.8.1.2 La lecture du matériel

L'étape suivante consiste à lire tous les comptes rendus avant de commencer à les diviser en strates et en sous-strates. Cette opération permet au chercheur d'acquérir une bonne connaissance de l'ensemble des sujets en se laissant imprégner par leurs propos. Le chercheur pourra également relire les notes prises au cours de l'entretien et écouter les enregistrements audio afin d'arriver à une réduction des données (Deslauriers, 1987; 1991).

Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes. Nous avons d'abord lu les comptes rendus, pour ensuite vérifier l'exactitude des propos entre la copie et la transcription

sur format informatisé. Une pré-analyse et une systématisation des idées complètent cette démarche.

3.8.1.3 Réduction ou condensation des données

Le premier niveau d'analyse est une procédure de réduction de chaque entretien afin de découvrir la signification du discours émis par le sujet. La condensation favorise un renvoi à l'ensemble des procédures de sélection, de simplification et de transformation des données brutes (Miles et Huberman, 1994). Cette analyse par entretien (analyse verticale) repose sur la nécessité de tenir compte du discours du sujet et sur le fait que chaque entretien est porteur d'un processus. Il s'agit là, d'une façon conceptuelle de retracer et de classifier les éléments du discours de l'élève. Ce procédé permet de dégager une perception globale des propos tenus lors de l'entretien. Le texte est repris afin d'identifier les thèmes abordés et de repérer les indices du transfert, en l'occurrence les manifestations des indicateurs. La condensation des données, entretien par entretien, nous apparaît comme étant l'étape préliminaire à la découverte des unités de sens pour l'ensemble des entretiens. Cette opération s'est bien déroulée considérant le nombre restreint (13) de sujets à analyser.

3.8.1.4 L'opération de codage

L'opération de codage est essentielle à notre démarche d'analyse. Le but du codage est de représenter, de classer et d'ordonner des unités de sens (Van der Maren, 1995). Le codage correspond à une transformation des données brutes en suivant un processus déterminé (Bardin, 1989). Il s'effectue sur tout le matériel recueilli à partir des comptes rendus intégraux et devient une entreprise de reconstruction et de synthèse (Van der Maren, 1995). Chaque entretien est découpé en autant d'unités de

signification identifiées. Le code attribué peut être un mot, un thème ou une phrase (Angers, 1996). L'unité de découpage représente une infime portion du discours et porte une signification qui varie d'un entretien à l'autre. Chaque extrait a une signification en lui-même, mais également par rapport aux autres (Van der Maren, 1995).

Cette codification correspond, en fait, à un début d'analyse horizontale. Cette analyse a pour but d'obtenir de multiples mises en relation des éléments du discours, c'est-à-dire intra-discours et inter-discours (entre les discours eux-mêmes). Une analyse catégorielle s'effectue sur la base d'une similitude de signification (Van der Maren, 1995). Cette partie permet de regrouper les unités d'enregistrement.

Le contenu des entretiens a été codé par le chercheur au moyen d'une grille qu'il a lui-même élaborée. Le recours à une grille d'analyse ouverte, c'est-à-dire que les catégories sont induites à partir du matériel recueilli (Landry, 1992; Nadeau 1988, cités dans Ouellette, 2000) est intéressant dans notre recherche. La grille comprend ainsi 39 codes (annexe, tableau 6). Elle a servi à l'analyse du discours de chaque sujet. Un code de couleur a été utilisé pour repérer plus facilement certains passages codés. Lors de la quantification, le chercheur dégage ensuite les statistiques descriptives (fréquences, rangs et pourcentages) pour les différentes catégories.

Une grille synthèse de chacun des entretiens fut réalisée pour permettre de regrouper, dans un espace synthétique, des données pertinentes à la poursuite de l'analyse. Le tableau 3.9 présente un exemple de codage effectué à partir des verbatims pour les questions A, B et C de la section 1 de l'entretien.

Tableau 3.9 : Exemple d'une grille de codage pour l'analyse des entretiens

Sujet	CONDENSATION CODE
Question A	
Chercheur : Peux-tu m'expliquer ta façon d'étudier ou de faire tes devoirs (à la maison ou à l'école)?	
Sujet : Ah moi quand j'étudie il faut que je sache tout par coeur ou sinon je n'étudie pas ... je veux dire ma science physique j'étudie toute ...	APPC*
Chercheur : Est-ce que tu étudies avec un baladeur?	COND*
Sujet : Non, non il faut que ce soit silencieux...	
Question B	
Chercheur : Est-ce la même façon pour toutes les matières? O/N.	
Donne-moi un exemple?	
Sujet : Ben ça dépend ... comme les sciences physiques et l'histoire il faut que je sache toute par coeur , mais en français, euh math's, c'est plutôt de la logique . T'sé en math's y'a pas rien à étudier il faut que tu comprendnes .	APPC* LOGI* COMP*
Question C	
Chercheur : Selon toi, est-ce que les mathématiques s'étudient? O/N. Pourquoi?	
Sujet : Dans un sens oui. Il faut que tu comprendnes . Dans l'autre si tu comprends tu es correcte, donc pas besoin d'étudier !	COMP*
Chercheur : C'est quoi pour toi comprendre?	
Sujet : Comprendre ben je veux dire il faut que tu sois capable de le faire en pratique .	COMP* PRAT*
...	...

Note 1 : Se rapporter au tableau 6 en annexe pour la signification des codes.

Note 2 : Parce qu'une lecture intelligible était parfois difficile, la forme de certains extraits a pu être touchée, mais sans en changer le sens.

Il s'en est suivi un deuxième codage inspiré, entre autres, des écrits de Noiseux (1998), de Ronis (2002) et de Tardif (1997, 1999) ainsi que des recherches de Chi *et al.*, (1981), de Mestre, Dufresne, Gerace, Hardiman (1993) et de Sutherland (2002) ayant traité des notions de connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles. Cette seconde analyse, selon nous, aide à mieux interpréter les réponses et les comportements des sujets face à des situations de transfert potentiel.

Les grilles d'analyse ont été construites à partir de l'organisation des différents éléments de contenu préalablement précisés et sur lesquels doit porter l'analyse. Les unités d'analyse ont ensuite été définies. Les catégories d'analyse de contenu forment l'élément central de la seconde grille d'analyse. Ainsi, les connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles constituent les trois grandes catégories de cette grille. Nous considérons que ces catégories respectent bien les critères d'exclusivité, d'exhaustivité, d'évidence et de pertinence tout en étant neutres (Angers, 1996; Lacour, Provost et Saumier, 1995 et L'Écuyer, 1987). Ces catégories sont définies par des indicateurs, dans ce cas-ci des questions très explicites (voir tableau 3.10).

Ainsi, la grille utilisée a permis d'ajouter de la profondeur à nos analyses et de corroborer certains résultats tout en assurant un prolongement. Nous avons utilisé les différentes sections du compte rendu intégral de l'entretien pour les sections I (questions générales sur l'école), II (retour sur les problèmes résolus lors de la passation de l'épreuve) et IV (identification de similitudes entre les problèmes), pour coder chaque unité de sens selon la typologie retenue. La même technique de codification ne nous paraissait pas pertinente pour analyser et interpréter les réponses aux problèmes de la section 3 de l'entretien. Le nombre limité de traces écrites et le type de réponses ne justifiaient pas une telle utilisation.

Pour nous, une unité de signification peut être attribuée à un mot ou à un ensemble de mots. Le codeur, ici le chercheur, devait tenter de bien comprendre le sens de la phrase et, d'inférer à l'occasion. Un seul code est attribué par unité de sens et une phrase peut contenir plusieurs unités de sens. Le tableau suivant présente les codes, leur signification ainsi que les questions permettant la codification.

Tableau 3.10 : Clés de codage pour les entretiens en fonction des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

Catégories	Codes utilisés	Questions à poser
Connaissances déclaratives	cd	Qui? Quoi?
Connaissances procédurales	cp	Comment?
Connaissances conditionnelles	cc	Où? Quand? Pourquoi?

Ainsi, pour illustrer notre façon de coder certains passages de l'entretien, la réponse à la question « a » est présentée selon la typologie des trois connaissances :

[...] mon étude je la fais avant de me coucher et mes devoirs je les fait avec de la musique plus sur l'heure du souper (cc).

(1-1-2-26)

Ou

L'autre exemple est tiré de la réponse du sujet 1-2-3-23 à la sous-question « C₁ » dont voici l'essentiel :

[...] les expériences faites en sciences physiques, les montages moléculaires pis toute ça, comme les balancements d'équations (cd)...

L'étape suivante porte sur la détermination des catégories liées au problème de recherche. Les catégories doivent être exclusives, exhaustives, évidentes, pertinentes et neutres (Angers, 1996). Autrement dit, le problème de recherche traduit en concepts, en dimensions et en indicateurs fournit la base essentielle à la construction des catégories. L'établissement des catégories consiste à classer les diverses positions ou attitudes que reflètent les réponses, de manière à permettre une présentation quantifiée des résultats. Les catégories selon lesquelles les données sont classifiées sont d'abord temporaires. Elles restent flexibles par la suite (Tesch, 1990). Pour les besoins de la recherche, une catégorie devrait correspondre à un des quatre indicateurs du transfert.

Cette démarche est complétée par la vérification des catégories. Celles-ci sont alors indiquées sur un tableau, question par question. Chaque sujet a un numéro d'ordre qui est rangé sous la catégorie correspondante. Lors du classement, on vérifie d'abord qu'aucune réponse n'a été omise et l'on s'assure ensuite que les catégories retenues correspondent bien à toutes les attitudes exprimées dans les réponses.

Ce regroupement des significations entre elles est construit par un processus de catégorisation. Il nous conduit vers une analyse horizontale, c'est-à-dire l'analyse

thématische, qui consiste à découper transversalement tout le corpus. Cette analyse a pour but de chercher une cohérence inter-entretiens. Les ensembles constitués sont placés dans une matrice. L'intérêt de cette analyse est de permettre la construction et l'évolution de la matrice qui est ouverte, évolutive et adaptative tout au long du traitement. La matrice abordera les propos tels qu'exprimés par les sujets.

L'analyse horizontale se poursuit en comparant entre eux les résultats obtenus à l'épreuve et le contenu de l'entretien pour les 13 sujets retenus. À la suite de ces condensations de données, des tableaux de résultats ont été construits et répertoriés dans le quatrième chapitre.

3.8.1.5 La scientifcité du codage

La validité d'un codage est difficile à apprécier. Il s'agit plutôt de la validité de la catégorisation et du classement qu'elle implique. La validité, comme dans toute analyse, est fonction, d'une part, du rapport existant entre le contenu à analyser et les catégories retenues et, d'autre part, entre les catégories et les objectifs de recherche. Lors de la collecte des données, nos questions de recherche étaient omniprésentes. Pour assurer une certaine validité du codage, la collecte de données a été faite par une seule et même personne, le chercheur. Avec l'implication d'un autre chercheur, un « co-codage » ou codage parallèle a été effectué sur 20 % du corpus de données provenant des entretiens dans le but de recourir au jugement externe (Lincoln et Guba, 1985).

La fidélité, quant à elle, correspond à l'accord entre les codeurs sur le classement des réponses. Il s'agit là d'une garantie de leur pertinence (Deslauriers,

1991). La fidélité peut s'observer à un double point de vue : celui du même codeur classant les mêmes réponses après un certain temps et celui de codeurs différents travaillant sur les mêmes matériaux. Considérant la méthodologie utilisée et le type de réponses obtenues (résolution de problèmes en grande majorité), un double codage sur l'ensemble des données n'a pas été nécessaire. Toutefois, un second codage a été fait sur les comptes rendus intégraux de certains sujets (20 %) afin d'assurer la fidélité.

Cette triangulation vise à augmenter le niveau de validité interne de l'étude (Van der Maren, 1996). La sélection du corpus de données soumises à cette opération a été faite au hasard. La clé de codage et les définitions ont été fournies au chercheur externe. Un degré d'accord d'au moins 80 % a été obtenu.

3.8.2 Élaboration d'une grille de correction pour la RDP de l'épreuve et de l'entretien

Les huit problèmes de l'épreuve ainsi que les six problèmes (section 3) de l'entretien ont été corrigés à partir d'une grille qualitative (tableau 4.1). Adaptée de Thouin (1995), la grille de correction, contenant quatre niveaux, a permis de constater les particularités des réponses de chaque sujet. Ainsi, un sujet obtenant un score de niveau 3 pour sa réponse est défini comme « un élève qui comprend les concepts à l'étude ». Il ne commet aucune erreur importante et donne généralement des explications complètes ou presque complètes des concepts. Le sujet met fréquemment en application les habiletés requises et démontre en général une connaissance de la solution. De plus, il communique convenablement, à l'oral comme à l'écrit, sa réponse ou ses idées. Il est capable de faire des rapprochements entre les mathématiques et les sciences dans des contextes familiers et entre les

mathématiques, les sciences et le monde extérieur. Toutefois, le score sera de 0 si le sujet semble ne pas avoir compris le problème (a proposé une solution inadéquate) ou s'il n'a rien écrit (par manque d'intérêt, de temps ou de connaissance, par exemple). Les scores de 1 et 2 sont réservés aux réponses jugées partiellement bonnes.

3.9 Considération déontologiques

Conformément au code de déontologie de la recherche sur les sujets humains adopté par le doctorat réseau, les sujets qui ont participé à cette recherche, étant d'âge mineur, avaient obtenu le consentement écrit d'au moins un des parents avant de s'y engager (appendice E). De plus, chaque sujet a été informé de sa possibilité de refus ou encore de retrait à tout moment de la recherche.

Il est important de souligner que l'usage des enregistrements audio réalisés dans le cadre de cette étude est exclusivement réservé à des fins de recherche. La confidentialité des informations a été assurée lors du traitement des données. Enfin, l'anonymat des participants est préservée, des codes ayant été attribués aux sujets.

Nous pouvons maintenant nous attarder aux résultats pour lesquels toutes ces précautions méthodologiques ont été prises. Ainsi, on trouvera donc au chapitre suivant une présentation des résultats relatifs aux objectifs poursuivis ainsi qu'une analyse et une interprétation de ces résultats.

CHAPITRE IV

ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Ce chapitre rend compte des résultats obtenus et des analyses effectuées. Parce que nous utilisons un construit d'intérêt relativement récent et puisque peu d'études y ont été consacrées jusqu'à ce jour, particulièrement en didactique, la recherche revêt donc une dimension exploratoire.

Ainsi, la difficulté d'étudier un processus aussi complexe que celui du transfert est mis en relief par les résultats exposés dans ce chapitre. Par ailleurs, il va de soi que l'interprétation des résultats nécessite d'être mise en œuvre au moyen de l'identification de certaines limites de recherche, essentiellement d'ordre méthodologique. Pour pallier les difficultés d'un tel travail, la discussion des résultats de recherche se fera simultanément à leur présentation tout au long du quatrième chapitre.

Le présent chapitre est donc divisé en cinq parties. Chacune d'entre elles présente des résultats, leur analyse ainsi que leur interprétation. Les deux premières traitent respectivement de l'épreuve et de l'entretien. Considérant la portée de l'activité de résolution de problèmes dans les disciplines scolaires, particulièrement en mathématiques et en sciences, la troisième section expose les résultats en rapport avec les trois concepts mathématiques à l'étude. Nous avons choisi d'accorder beaucoup d'importance aux indicateurs dans notre analyse en leur réservant la quatrième section. La cinquième et dernière partie présente les résultats de l'analyse effectuée à partir de la typologie de connaissances déclaratives, procédurales et

conditionnelles (De Jong et Ferguson-Hessler, 1996, dans Sutherland, 2002; Ehrlich, Tardieu et Cavazza, 1993; Salvelsbergh, De Jong et Ferguson-Hessler, 1998, cités dans Sutherland, 2002; Ronis 2002).

4.1 L'épreuve

4.1.1 La section B de l'épreuve

Pour les 130 sujets appartenant aux cinq groupes ciblés, les résultats de la résolution de problèmes ont été colligés. Dans un premier temps, nous voulions faire une correction des huit problèmes que constituait notre épreuve. Pour nous, une grille de correction qualitative (adaptée de Thouin, 1995) à quatre niveaux est suffisante pour constater les particularités des réponses de chaque sujet. Le tableau 4.11 présente la description des quatre niveaux à partir desquels la correction des problèmes s'est effectuée.

Tableau 4.11 : Grille de correction qualitative incluant les scores et la description de chacun

<i>Scores ou niveaux retenus</i>	<i>Description</i>
3	Le sujet semble bien comprendre le problème. Il a présenté une solution détaillée, comportant un dessin, ou une formule ainsi que la réponse avec les bonnes unités.
2	Le sujet semble comprendre le problème. Il a présenté une solution comportant quelques erreurs mineures (mauvaises données utilisées, absence des unités, etc.).
1	Le sujet semble comprendre partiellement le problème. Il a proposé une solution qui comportait des erreurs marquées (erreur dans la formule, dans la solution, etc.).
0	Le sujet semble ne pas avoir compris le problème (a proposé une solution inadéquate) ou n'a pas rien écrit (pas manque d'intérêt, par manque de temps, par manque de connaissance, etc.).

Chaque réponse des 130 sujets présents à l'épreuve a été corrigée à l'aide de cette grille. La tableau 4.12 expose la synthèse des résultats obtenus à l'épreuve pour chacun des problèmes (1 à 8) et ce, dans chacun des groupes. Pour simplifier l'analyse et le traitement, nous avons convenu de présenter les résultats en pourcentage afin d'assurer une meilleure comparabilité.

Tableau 4.12 : Synthèse des pourcentages de réponses obtenues aux problèmes 1 à 8 de l'épreuve en fonction des scores pour les différents groupes (sous-question b)

Niveaux/ Fréquence	Scores	Gr. A (430)	Gr. C (430)	Gr. D (430)	Gr. B (416)	Gr. E (416)
		N = 24	N = 23	N = 25	N = 28	N = 30
P.1	3	4,5 %	0 %	35 %	0 %	0 %
	2	77 %	89 %	30 %	60 %	36 %
	1	14 %	0 %	5 %	8 %	7 %
	0	4,5 %	11 %	30 %	32 %	57 %
P.2	3	18 %	17 %	35 %	16 %	14 %
	2	14 %	0 %	20 %	16 %	11 %
	1	36 %	11 %	10 %	8 %	7 %
	0	32 %	72 %	35 %	60 %	68 %
P.3	3	68 %	17 %	25 %	48 %	14 %
	2	18 %	11 %	30 %	8 %	32 %
	1	9 %	11 %	10 %	0 %	11 %
	0	4,5 %	61 %	35 %	48 %	43 %
P.4	3	27 %	17 %	15 %	28 %	0 %
	2	23 %	5,5 %	20 %	4 %	7 %
	1	4,5 %	11 %	0 %	12 %	0 %
	0	45,5 %	66,5 %	65 %	56 %	93 %
P.5	3	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	2	4,5 %	0 %	0 %	4 %	3,5 %
	1	36 %	33,5 %	0 %	4 %	25 %
	0	59 %	66,5 %	100 %	92 %	71,5 %
P.6	3	41 %	33,5 %	45 %	40 %	0 %
	2	18 %	22 %	10 %	8 %	7 %
	1	18 %	33,5 %	20 %	28 %	14,5 %
	0	23 %	11 %	25 %	24 %	78,5 %
P.7	3	18 %	11 %	15 %	20 %	3,5 %
	2	4,5 %	0 %	10 %	8 %	7 %
	1	9 %	5,5 %	5 %	16 %	14,5 %
	0	68 %	83,5 %	70 %	56 %	75 %
P.8	3	9 %	17 %	30 %	12 %	7 %
	2	4,5 %	22 %	0 %	20 %	3,5 %
	1	18 %	33,5 %	10 %	8 %	11 %
	0	68 %	27,5 %	60 %	60 %	78,5 %

Avec le problème 6, le problème 1 portant sur le système électrique a été le mieux réussi. Ainsi, pour trois groupes (A, B et C), les fréquences pour un score de 2 sont supérieurs à 50 % ; il est de 77 % pour le groupe A, 60 % pour le groupe B et 89 % pour le groupe C. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ces trois groupes proviennent de la même école et qu'un enseignement axé sur les concepts d'électricité peut être à l'origine de cette performance.

Quant au problème 6 (le canot), les fréquences pour un score de 3 sont relativement élevées pour quatre des 5 groupes. Pour le groupe A, la fréquence est de 41 %, de 40 % pour le groupe B, de 33,5 % pour le groupe C et de 45 % pour le groupe D. Elle est cependant de 0 % pour le groupe E.

Parmi les cinq groupes, le groupe E (416) est celui qui a le moins bien réussi la résolution de problèmes selon cette grille. Ces résultats se démontrent par le nombre élevé de problèmes non réussis et identifiables par une forte proportion de scores 0 et 1. Nos observations permettent de déduire que la grande proportion de scores zéro trouve son explication dans le manque d'intérêt manifeste de plusieurs sujets lors de la passation de l'épreuve.

Globalement, le problème 6, qui portait sur un taux de variation (le canot), a été le mieux réussi par au moins 33 % des élèves appartenant à quatre des cinq groupes échantillonnés. L'explication pourrait venir du fait que ce problème est très semblable à ceux rencontrés par les élèves dans leur cours de mathématiques.

À l'opposé, les problèmes 4 (la réparation de l'ampoule), 5 (la structure cristalline) et 7 (la tumeur) sont ceux qui semblent avoir causé le plus de difficultés aux élèves. À l'exception du problème 4 pour le groupe A, l'ensemble des fréquences est supérieur à 50 % pour ces problèmes. Il est intéressant de noter que parmi les deux problèmes les moins bien réussis, les problèmes 4 et 7, sont deux problèmes isomorphes et hors contexte scolaires (qui ne nécessitent pas de connaissances scolaires pour être résolus). Le manque d'habitude face à ce genre de problèmes peut expliquer la moindre performance pour au moins 33 % des sujets des cinq groupes. Quant au problème 5, nos explications vont du côté de l'interprétation de la question en elle-même. En effet, nous demandions de réfléchir sur la notion de cube parfait au niveau d'un cristal de roche (les sujets pouvaient le démontrer à partir du théorème de Pythagore). Or, plusieurs n'ont pas répondu à la question ou ne semblent pas avoir compris le sens de la question. Voici un exemple d'une réponse d'un sujet ayant obtenu un score de 0 pour cette question :

« Il [existe] plusieurs catégories pour classer l'état de la forme des cristaux ».

(1-1-1-23)

Ce sujet faisait référence possiblement à la taxonomie des roches et des minéraux étudiée en 2^e secondaire ou au cours sur l'initiation à la morphologie des cristaux en sciences physiques de 4^e secondaire. Notons également qu'un nombre élevé de sujets a refusé de répondre à ce problème en laissant l'espace libre de l'épreuve, soit par crainte de se tromper ou encore pour des raisons d'interprétation de l'énoncé. Par ailleurs, l'exemple suivant présente une réponse jugée correcte pour le problème de la structure cristalline :

« Le séparer en 2, de sorte qu'il y ait 2 triangles. Tu appliques la règle de Pythagore ou tu prend un équerre (angle droit). La règle de Pythagore

s'applique seulement pour les triangles rectangles, c'est-à-dire qui ont un angle droit ».

(1-2-2-28)

Pour nous, cette réponse est jugée acceptable et se traduit par un score de trois. Comme plusieurs sujets, cet élève a répondu en utilisant une solution très pragmatique (l'utilisation de l'équerre) plutôt que le passage par des calculs.

Enfin, le groupe E est particulièrement faible avec des fréquences supérieures à 50 % au score 0 pour l'ensemble des problèmes, à l'exception du problème 3 dont le résultat est de 43 %.

4.1.2 La section C de l'épreuve

Un des éléments propres au potentiel du transfert est la capacité pour un individu à reconnaître et à établir un lien entre deux situations présentées. Ainsi, pour chacune des sous-questions C_1 , C_2 et C_3 de l'épreuve, nous avons relevé le genre de liens retenus par les sujets. Pour nous, un lien se définit comme une unité de sens faisant référence à un élément commun et présent dans deux situations. Les liens sont exposés pour chaque groupe et pour chacune des trois sous-questions au tableau 4.13. La réponse à une sous-question peut contenir un ou plusieurs liens.

L'ensemble des sous-questions (C_1 à C_3) de l'épreuve écrite a été analysé à partir d'une grille permettant de codifier les liens selon le transfert rencontré : de profondeur, de surface ou si le transfert est absent. A titre d'exemple, un sujet ayant répondu : « oui c'est en mathématiques » se voit attribuer la cote +/- alors qu'une

réponse du genre « en réalisant des circuits simples et en calculant la résistance » reçoit la cote ++. La cote ++ est généralement assignée lorsque le sujet donne un exemple complet, la cote +/- si le sujet répond à l'affirmative ou n'est pas précis dans sa description. La cote - - est réservée aux sujets dont les réponses sont négatives. Si le sujet n'a rien répondu, aucune cote n'est allouée.

Tableau 4.13 : Type de liens établis entre deux situations (pour les sous-questions C₁, C₂ et C₃)

Nombre d'occurrences pour chaque type de liens																
	Gr. A N=24			Gr. B N=28			Gr. C N=23			Gr. D N=25			Gr. E N=29			
	++	+/-	--	++	+/-	--	++	+/-	--	++	+/-	--	++	+/-	--	
1	C ₁	21	1	1	26	0	1	22	2	0	16	2	3	21	5	1
Le syst. électrique	C ₂	11	1	11	12	2	10	11	3	10	8	2	9	14	1	13
	C ₃	6	1	16	7	0	19	6	0	15	4	0	17	4	1	20
2	C ₁	11	5	4	18	4	3	19	1	1	11	7	0	16	10	0
L'équat. chimique	C ₂	8	0	11	4	0	19	10	1	10	5	0	14	7	3	16
	C ₃	5	0	13	2	0	22	5	0	13	2	0	16	3	0	17
3	C ₁	0	1	20	4	2	13	0	0	12	1	1	16	2	2	19
La fenêtre	C ₂	18	3	0	10	8	2	7	4	1	11	6	3	9	7	7
	C ₃	11	1	9	11	1	8	8	0	4	7	1	10	14	0	11
4	C ₁	4	0	13	3	0	15	2	0	9	1	2	9	2	1	11
La répar. de l'ampoule	C ₂	3	0	14	3	1	14	1	1	9	1	2	10	2	0	12
	C ₃	6	0	11	4	0	14	2	0	9	1	1	9	3	0	11
5	C ₁	8	1	6	10	1	9	6	2	4	8	2	2	9	5	6
La struct. cristalline	C ₂	8	1	6	9	1	11	8	0	3	3	0	6	10	2	8
	C ₃	2	1	12	6	0	14	6	0	5	3	0	7	7	0	10
6	C ₁	16	0	2	15	1	7	18	0	1	7	2	6	6	4	8
Le canot	C ₂	16	2	0	16	8	1	18	2	0	13	3	1	7	9	1
	C ₃	6	0	12	5	0	18	5	0	12	3	0	13	2	1	13
7	C ₁	3	0	7	2	0	15	5	0	6	4	0	7	1	0	13
La tumeur	C ₂	1	2	7	2	4	11	0	1	10	3	0	8	0	1	13
	C ₃	0	0	10	3	0	13	2	0	9	2	0	8	1	0	12
8	C ₁	8	2	1	9	2	4	10	2	4	5	1	6	6	4	8
Le détergent	C ₂	6	3	1	13	5	0	8	7	0	5	6	2	7	7	2
	C ₃	8	1	2	11	2	5	10	2	4	9	1	4	10	4	4

Pour l'ensemble des groupes, la question 1C₁ (le système électrique) est celle qui a donné lieu au plus grand nombre de liens ++, soit 21 pour le groupe A, 26 pour le groupe B, 22 pour le groupe C, 16 pour le D et 21 pour le E. Ce résultat peut s'expliquer, en partie, par le fait qu'il s'agissait du premier problème de l'épreuve écrite et que par conséquent, plusieurs sujets ont eu le temps d'y réfléchir convenablement. De plus, ce genre de problème est bien connu des élèves tout en étant fortement contextualisé aux sciences physiques (C₁). C'est d'ailleurs ce qui expliquerait que la question 1C₃ est dominée par des liens -- hors contexte pour les cinq groupes : 16 (A), 19 (B), 15 (C), 17 (D) et 20 (E).

Pour les groupes A (20), B (13), C (12), D (16) et E (19), on dénote une absence de liens avec les sciences physiques (C₁) pour le problème 3 (la fenêtre), mais plusieurs liens ++ pour la sous-question C₃ (hors contexte scolaire). En effet, plusieurs sujets y sont allés d'exemples divers racontant des expériences personnelles souvent liées à la construction ou à la rénovation d'une bâisse quelconque.

Le problème 6 (le canot) a une dominante ++ pour les sous-questions C₁ et C₂ pour les groupes A, B et C qui, d'ailleurs, proviennent de la même école. Quoi qu'intéressante, l'interprétation des résultats est dans ce cas-ci, difficile.

Par ailleurs, les problèmes 4 et 7 (HCS) sont ceux qui, dans l'ensemble, conduisent à l'établissement d'un nombre élevé de liens --. Nous attribuons ces résultats au fait que ces problèmes sont loin des préoccupations et des savoirs explicites des élèves.

Pris dans leur ensemble, les liens ++ dominent les sous-questions C₁ à C₃ pour le problème 8 (le détergent). Fait à remarquer, la sous-question C₃ donne lieu à une réponse similaire pour de nombreux sujets. Dans la majorité des cas, on répondait : « lorsque ma mère va faire l'épicerie ou quand on veut le produit le moins cher à l'épicerie ». Le rapprochement avec des situations scolaires ou de la vie quotidienne expliquerait ces résultats.

Cette série de résultats ferait croire que l'établissement de liens, par un sujet, est souvent contextualisé aux problèmes desquels ils émergent. Malheureusement, la quantité et la qualité des liens varient d'un sujet à un autre et influencent à divers niveaux le processus même du transfert. Il est difficile d'établir des explications de cause à effet pour l'instant.

Étant donné l'importance que revêt l'entretien dans notre recherche, jumelée à nos préoccupations de pouvoir comparer les résultats de l'épreuve et de l'entretien pour les 13 sujets, nous avons choisi de centrer nos analyses sur l'entretien. Cette logique repose sur la présomption qu'il serait possible pour un apprenant, à partir de certains apprentissages ciblés, de réinvestir et de mobiliser ses connaissances dans une tâche cible.

4.2 Résultats, analyses et interprétation de l'entretien

4.2.1 La section 1 de l'entretien

L'entretien comportait quatre sections. Pour chacune des sections, nous avons d'abord compilé les résultats, question par question, selon les réponses fournies par les sujets afin d'obtenir une vision globale.

Les entretiens ont donné lieu à des analyses qualitatives et à des statistiques descriptives. Malgré la nature des entretiens, le recours à des données chiffrées est inévitable dans certains cas puisqu'il est « préférable de transformer les fréquences (nombres absous) en proportions (nombres relatifs) afin d'effectuer des comparaisons si la longueur des productions varie » (Lamoureux, 1995, p. 156) .

La première section de l'entretien comportait neuf (9) questions, lesquelles servaient à ouvrir la discussion pour permettre à l'élève de s'exprimer sur divers points en lien avec les études. Afin de faciliter le travail d'analyse, le texte a été codé à partir des catégories émergentes les plus significatives. En tout, 39 codes ont été retenus et ont servi à l'analyse (tableau 6, en annexe). Lors de l'analyse de contenu des entretiens, nous citons uniquement quelques extraits spécifiques, soit pour appuyer notre argumentation ou bien pour tracer un portrait d'un sujet en particulier.

Chaque question est représentée par une dizaine de dimensions retenues pour leur fréquence et leur signification (tableau 7, en annexe). Le tableau 4.14 expose quant à lui, les dimensions les plus fréquentes exprimées par les sujets. La fréquence des scores apparaît en ordre décroissant. Le nombre d'occurrences dans la colonne

de droite correspond au nombre de citations; un même sujet peut avoir exprimé plus d'une fois la même réponse.

Tableau 4.14 : Fréquences les plus élevées des dimensions retenues pour la section 1 de l'entretien

Thème des questions	Occurrences
<i>Question A) Étude/devoir</i>	
Conditions (musique, silence, moments de la journée, l'endroit, etc.)	13
<i>Question C) Étude des mathématiques</i>	
Il faut comprendre	8
<i>Question F) Étapes de la RDP</i>	
Le nombre d'étapes varie de 2 à 5	8
<i>Question B) Façons d'étudier</i>	
Varient selon les matières	7
<i>Question G) Recherche en mémoire</i>	
Aide à le faire	7
<i>Question H) Retour sur l'épreuve</i>	
Certains se souviennent de quelques problèmes, du contexte de la question, etc.	6
<i>Question D) Étude des sciences physiques</i>	
Les sciences physiques s'étudient (surtout les formules, les définitions des mots, les tests en laboratoire, etc.)	5
C'est de la logique	5
<i>Question E) Stratégies utilisées en RDP</i>	
Le nombre d'étapes varie entre 2 et 5	4

À la lumière du tableau, on constate que les jeunes accordent beaucoup d'importance (13 fois) aux conditions de l'environnement (le bruit, la musique, l'endroit, etc.) dans lesquelles se font l'étude ou les devoirs (question A) et peu ou pas aux conditions personnelles (la fatigue, la motivation, le stress, etc.). Si l'on devait analyser cette réponse en fonction de la typologie « des connaissances déclaratives, procédurales ou conditionnelles », il semble que les réponses seraient très élevées du côté des connaissances conditionnelles. En voici un exemple :

« Pas vraiment euh... mon étude je la fais avant de me coucher et mes devoirs je les fais avec de la musique plus sur l'heure du souper » .

(1-1-2-26)

Les façons d'étudier (question B) paraissent très variées selon les disciplines (b, c et d). Par exemple, plusieurs sujets considèrent que les mathématiques ne s'étudient pas ou peu, mais qu'elles nécessitent plutôt de la compréhension. Celle-ci n'est pas clairement explicitée par les sujets rencontrés, mais on l'associe certainement à ce que d'aucuns appellent la « bosse des mathématiques ». En sciences physiques, il est plus facile de reconnaître les possibilités d'études et cette dernière est souvent associée à la présence de formules connues ou d'un vocabulaire spécialisé. Paradoxalement, les sujets semblent dire que les sciences physiques nécessitent une certaine forme de logique (voir l'exemple ci-dessous). De façon générale, on considère que les mathématiques ne s'étudient pas ou très peu alors que les sciences physiques s'étudient pour certains. Quant aux mathématiques, *ça s'apprend, ça se pratique, ça se comprend*. Toutefois, à l'analyse des réponses, on constate que l'étude des formules est importante tant en sciences (4 occurrences), qu'en mathématiques (4 occurrences).

« Euh pour la théorie en sciences, oui ça s'étudie pis pour les problèmes c'est à force d'en faire et avec la logique là qu'on... avec la théorie que tu as apprise dans le fond tu es capable de savoir le reste ».

(1-2-1-24)

L'intérêt et les difficultés face à la discipline ainsi que le moment choisi pour la passation de l'épreuve (par exemple, à la fin de l'année scolaire) sont des facteurs qui influencent la « manière de faire ».

« Non, pour mes maths il faut vraiment qu'il n'y ait pas de bruits parce que j'ai de la misère pis parce que quand il y a du bruit, ça me déconcentre, il faut que je sois concentrée ».

(1-2-3-23)

Quant aux stratégies et aux étapes à suivre en résolution de problèmes, elles sont présentées dans le tableau 8 (en annexe). Pour la plupart des sujets, leur nombre varie de trois à six. Les questions (E et F) incitaient les sujets à s'exprimer sur la manière de faire, la façon de résoudre un problème qu'il soit de nature mathématique ou scientifique. Sur huit sujets ayant répondu aux questions E et F (stratégies et étapes en RDP), cinq proviennent du groupe C (430), un du groupe A (430), un du groupe B (416) et un du groupe E (416).

Les sujets du groupe C ont répondu majoritairement à ces questions et il semble qu'ils s'expriment plus facilement dans l'ensemble. Ce sont des sujets qui ont déjà fait le cours de Sciences physiques 416 et qui sont inscrits en Sciences physiques 430 en cinquième secondaire. Ils sont donc plus âgés en moyenne que l'ensemble des autres sujets.

À la lumière des données du tableau 8 (en annexe), on constate que les étapes précédant le raisonnement ou l'exécution même de la solution — avant d'entrer dans la résolution du problème à proprement dit — (lire, sortir les données, etc.) sont assez explicites. Mais elles se résument par la suite à résoudre le problème sans plus. Notons également toute l'importance « à réviser, à faire le problème à l'envers ou à faire deux fois le problème ». En effet, nous l'avons relevé à onze reprises pour les questions E et F (tableau 7).

La question G sur la « recherche en mémoire » faciliterait la capacité à résoudre un problème pour sept des treize sujets. Pour plusieurs, le recours à la mémoire « les aiderait à faire le problème... ». Par ailleurs, peu de sujets, malgré l'absence de questions explicites, s'expriment sur des façons d'organiser les connaissances, de gérer et de stocker l'information. Pourtant, des auteurs aussi prolifiques que Novak (1977; 1995) ou Glaser (1992) y accordent beaucoup d'importance. Pour ce dernier, les probabilités d'accès en mémoire sont augmentées, ce qui fait en sorte que l'élève peut établir de nombreuses relations et accomplir d'une façon plus adéquate et plus efficace la tâche en question.

Pour la question H, les élèves les plus forts se souviennent davantage et de façon plus précise, des problèmes de l'épreuve. Les autres s'en rappellent peu et sont imprécis (mathématiques, sciences physiques) dans les réponses. Le problème de la fenêtre et ceux des rayons laser (la réparation de l'ampoule et la tumeur) reviennent le plus souvent. Dans le premier cas, l'une des raisons qui pourrait expliquer que l'on s'en souvienne est la difficulté rencontrée face à ce problème. Dans le second cas, l'explication proviendrait du contexte « hors scolaire » des problèmes. Nous avons également constaté que les élèves les moins forts se souviennent peu de l'épreuve;

leur réponse est assez limitée soit en raison d'une capacité moindre de mémoire, soit par manque d'intérêt.

De façon générale, nous pouvons affirmer que les sujets ont eu de la difficulté à évoquer des éléments de l'épreuve un mois après la passation. Et lorsqu'il y a eu rappel, on rapportait des éléments de la discipline et de contenu (surface). La plupart des sujets ne pouvait nommer que deux ou trois éléments (des questions en mathématiques, en sciences physiques, la question de la fenêtre, la question du laser, etc.). Cela témoigne bien de l'importance que l'on devait accorder aux indicateurs retenus dans cette étude.

Par ailleurs, les élèves des groupes B et E ont du mal à exprimer clairement leurs idées. Ainsi, la prise en compte des caractéristiques des élèves nous amène à conclure qu'ils utilisent des démarches de RDP moins détaillées et moins précises, le tout pouvant être relié à des difficultés d'organisation des connaissances ou à des difficultés d'apprentissage. Ces élèves font partie des groupes réguliers 416, classification établie à partir des résultats obtenus en mathématiques de 3^e secondaire.

4.2.2 La section 2 de l'entretien : quelques liens relevés

Pour évaluer la capacité à transférer et ainsi mieux comprendre le processus de transfert, nous avons considéré systématiquement l'établissement de liens entre deux éléments de réponse. Ces liens sont de nature et de qualité différentes.

En annexe, le tableau 9 présente les résultats obtenus pour les 13 sujets présents à l'entretien (section 2a). L'intervieweur invitait les sujets à discuter des réponses qu'ils avaient fournies aux problèmes lors de la passation de l'épreuve.

Généralement, les sous-questions C₁ à C₃ (tableau 9) sont celles qui ont amené le plus d'élèves à établir des liens. Le nombre de liens semble plus élevé chez les élèves du groupe C. On peut cependant s'étonner que la capacité à établir des liens ou à exprimer un lien ne soit pas directement influencée par la réussite ou non du problème à résoudre. Car, force est de constater qu'un lien peut s'établir à partir d'un élément de surface (+/- ou - -) et ne pas engendrer de transfert. Alors en quoi est-il pertinent d'établir ces liens? La réponse vient du fait que nos outils invitaient les sujets à parler de ces liens. Nos résultats suggèrent ainsi que de tels liens ne sont pas toujours utiles pour une mobilisation des connaissances. Pourtant, plusieurs liens relevés sont de nature procédurales ou conditionnelles.

Afin de faciliter la compréhension et l'interprétation, une synthèse des résultats est présentée ci-dessous. Les résultats sont exprimés en nombre d'occurrences et en proportions (moyenne par individu) pour soutenir les comparaisons.

Tableau 4.15 : Occurrences selon les catégories de liens pour la section 2a (retour sur l'épreuve)

Groupe S.	En profondeur		En surface		Inexistant		Total des occurrences par groupe	Moy. par individu
	Occ. des liens ++	Moy. par individu	Occ. des liens +/-	Moy. par individu	Occ. des liens -	Moy. par individu		
A (2 sujets)	17	8,5 %	10	5,0 %	1	0,5 %	28	14,0 %
B (3 sujets)	23	7,7 %	8	2,7 %	3	1,0 %	34	11,3 %
C (5 sujets)	49	9,8 %	13	2,6 %	7	1,4 %	69	13,8 %
D (1 sujet)	3	3,0 %	1	1,0 %	1	1,0 %	5	5,0 %
E (2 sujets)	16	8,0 %	7	3,5 %	3	1,5 %	26	13,0 %
Total	108		39		15		162	
Moyenne		8,3 %		3,0 %		1,1 %		

Le tableau 4.15 expose le nombre d'occurrences et la moyenne par individu pour les liens jugés « profonds », « de surface » ou « l'absence de liens » chez les sujets. Dans l'ensemble, lorsqu'un sujet établit un lien, ce dernier est assez précis et s'appuie sur un exemple concret.

Par exemple, un lien ++ avec les sciences physiques (1 C₁) :

« ...en l'électricité avec les boîtes mystères (Sigmatron) dans le laboratoire de Monsieur... »

(1-2-3-20)

ou dans le cas des mathématiques (2 C₂) un lien ++ :

« ... il arrive souvent que les équations doivent être égales des deux côtés... »

(1-2-3-23)

ou finalement un lien ++ pour la question 2 C₃ traitant du contexte hors de l'école :

« ... ça me rappelle mon jeu de chimie que j'ai reçu en cadeau lorsque j'étais jeune... »

(1-1-2-26)

La moyenne des liens établis par les sujets, qu'ils soient ++ ou +/-, est comparable si l'on considère que le groupe D est représenté par un seul sujet. Le groupe C obtient encore une fois la moyenne (9,8 %) par individu la plus élevée. Les liens établis sont tantôt à la verticale (d'un niveau à l'autre), tantôt à l'horizontale (d'une discipline ou d'un contexte à l'autre).

Le tableau 4.16 regroupe les occurrences relevées selon les types de lien et ce, pour chacun des problèmes résolus.

Tableau 4.16 : Taxonomie et occurrences des liens pour chacune des questions de l'épreuve (section 2a de l'entretien) pour l'ensemble des cinq groupes

Problèmes	Liens ++ profondeur	Liens +/- surface	Liens -- inexistant
1 Le système électrique	14	3	4
2 L'équation chimique	18	7	3
3 La fenêtre	8	6	3
4 La réparation de l'ampoule	4	3	1
5 La structure cristalline	16	8	0
6 Le canot	15	5	3
7 La tumeur	10	5	1
8 Le détergent	26	4	0

Les problèmes 2 (équation chimique-les proportions), 5 (structure cristalline-Pythagore) et 8 (le détergent-les proportions) sont ceux qui ont conduit à l'établissement d'un plus grand nombre de liens (HCS). Le problème 8 portant sur le détergent est de loin celui qui a permis le plus de liens (26). Possiblement parce qu'il est (contextualisé) plus près des jeunes (l'épicerie, le magasinage, par exemple) ou

parce que ce problème se rapproche davantage de ceux rencontrés dans les manuels scolaires ou des exemples utilisés par les enseignants.

Si on en juge par l'occurrence des liens, on pourrait être porté à croire que leur capacité à résoudre le problème explique le nombre de liens élevés. Ce ne semble pas être le cas puisque le problème 5 a été réussi par très peu de sujets. Il appert que ce soit par manque de temps que le problème 8 ait été négligé. Nous pouvons faire le constat que la perception du contexte (Samson, 2002a) de la question ou du problème ainsi que des éléments de contenu sont à l'origine de ces liens; leur contribution en matière de résolution de problèmes et de transfert demeure par conséquent ambiguë. On pourrait alors parler de liens de surface et de profondeur. Rappelons enfin, que les problèmes hors contexte scolaire 4 et 7 (réparation de l'ampoule et la tumeur) figurent parmi ceux qui favorisent le moins l'évocation et l'établissement de liens. Nous émettons l'hypothèse que le contexte, parce que moins connu, ne favorise pas le rappel quand l'intervalle de temps entre la passation de l'épreuve et l'entretien est relativement long. Signalons qu'un mois sépare la passation de l'épreuve et l'entretien.

Nos résultats viennent nuancer les résultats d'études précédentes qui ont montré comment un contenu familier améliore la capacité des individus à bien effectuer une tâche de raisonnement. Les réponses aux problèmes de raisonnement logique comme aux problèmes de mélanges étaient plus précises lorsque les problèmes présentaient un contenu familial. Cependant, à l'évidence il peut être difficile de transférer un savoir ou une connaissance entre deux problèmes qui ont des contenus forts différents sans que les individus en soient informés de façon explicite. Mais, à mesure que les sujets évoluent au niveau de la compétence à résoudre des problèmes, jumelée à une expertise dans un domaine particulier, ils développent de

plus en plus de capacité à voir de quelle façon deux problèmes sont liés, même s'ils présentent des contenus différents. Donc, ils sont plus forts dans la classification des problèmes en fonction de leur contenu. L'étude de Silver (1981) fut l'une des premières à démontrer ce point (Reed, 1999).

4.2.3 La section 2 B de l'entretien

La question de cette section de l'entretien visait à vérifier la perception que le sujet se donne du contexte d'un problème. Il devait classer le problème selon qu'il le perçoit surtout en mathématiques, surtout en sciences ou hors contexte scolaire. Un même problème pouvait être classé dans deux ou même trois catégories (figure 4.6).

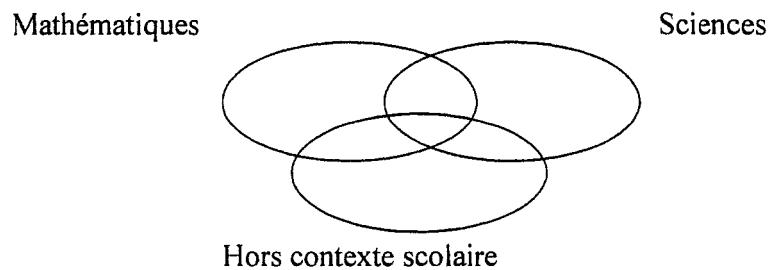


Figure 4.6 : Structure utilisée en entretien pour la classification des problèmes selon la perception du contexte

Le tableau 4.17 aligne les résultats obtenus pour chaque sujet rencontré en entretien. Étant donné qu'un problème pouvait être classifié dans plus d'une catégorie, les numéros des problèmes suivis d'un astérisque indiquent une dominante pour cette catégorie.

Tableau 4.17 : Perception du contexte des problèmes de l'épreuve

Sujets	Contextes		
	Mathématiques (M)	Sciences physiques (S)	Hors contexte scolaire (HCS)
1-1-1-23	3,6,8	1,2,5	4,7
1-1-2-26	2,3,5,6*,8	1,2*,6	4,7
1-2-2-28	1,3,5*,6*,8*	1*,2,5,6,8	4,7
1-2-3-23	3,6*,8*	1,2,4,5,6,7,8	7*,8
1-2-3-20	2,3,6,8	1,2*,4,5,6,8	7,8
1-1-3-19	3,5,6*,8*	1,2,4,6,7,8	-
1-2-1-24	3,6,8	1,2,4	5,7
1-2-3-21	1,2,3,4,5,6,7	1,2,4,5,6,7,8	-
1-1-3-22	3,5,8	1,2,5,6	4,7
1-2-2-27	3,5,6,8*	1,2,8	4,7
2-2-5-30	3,6	1,2,4,5	7,8
2-1-5-29	3,4,5,6,8	1,2,5*,8	7
2-1-4-25	3,6,8	1,2,4,5	7

À l'examen des résultats, on constate que le problème 3 portant sur la fenêtre ne semble pas un obstacle à l'identification de son contexte. En effet, tous les sujets l'ont considéré comme un problème de nature mathématique, même si plusieurs ont plutôt tenté de le résoudre à partir d'éléments « extra-scolaire ou très pratiko-pratique » comme l'utilisation d'une équerre ou d'un objet carré, dont un des angles est droit, pour en vérifier l'angle. Les problèmes traitant de système électrique (1) et d'équation chimique (2) sont surtout retenus comme des problèmes à teneur scientifique par la plupart des sujets (13 fois dans les deux cas), alors que le problème sur la tumeur (7) est classifié dans la catégorie « hors contexte scolaire » par 11

sujets. Les catégories mathématiques et sciences se partagent respectivement les problèmes 5 (7 et 9), 6 (12 et 7) et 8 (11 et 7) alors que pour le problème sur l'ampoule (7 et 5), ils sont partagés entre les catégories sciences et hors contexte scolaire.

À partir de telles données, il est quelque peu étonnant de constater l'écart de perception entre, d'une part ce que nous avions anticipé (se rapporter au tableau 3.3 du chapitre 3) et d'autre part, les réponses des individus. Les outils utilisés ont été élaborés en essayant de contextualiser les problèmes selon une certaine réalité. Nos résultats démontrent que la perception d'un contexte est influencée par différents éléments (Samson, 2002a). Plusieurs sujets semblent se laisser prendre par des « éléments de surface » pour classer le problème. Ainsi en est-il pour la structure, citons le problème de la « structure cristalline » où le nombre de réponses est très partagé entre les catégories mathématiques et sciences. Ce problème avait été conçu de façon à pouvoir faire travailler les sujets autour du théorème de Pythagore, donc surtout à teneur mathématique. Des éléments de surface comme la présence des mots binoculaire, roche, cristaux, géologie, pour ne nommer que ceux-là, ont sûrement contribué à sa classification en sciences physiques. Pourtant, nous aurions pensé que la nature de la question invitait les jeunes à utiliser le théorème de Pythagore. En accord avec la littérature (Ghiglione et Richard, 1995; Julo, 1995; Lester, 1994; Richard *et al.*, 1990 et Richard, 1994a et b), ces éléments de surface influencerait la capacité ou la manière d'aborder un problème. Pour nous, il s'agit là d'une importante clé d'interprétation pour mieux comprendre le processus de transfert dans sa mise en œuvre.

Les résultats obtenus quant à la classification mathématiques, sciences et hors contexte scolaire étant d'un intérêt évident et à la fois surprenant, nous voulions

poursuivre le même exercice avec les titulaires de ces groupes. Ainsi, quatre enseignants dont trois en sciences physiques et un en mathématiques ont été rencontrés. Nous leurs avons demandé de classifier les mêmes problèmes selon la typologie retenue.

Les résultats exposés dans le tableau 4.18 intègrent les résultats obtenus par les élèves pour des fins de comparaison. Pour les problèmes 2 et 4, les résultats des suites de la classification sont, en moyenne, les mêmes. La capacité à classifier un problème ne témoigne pas de la capacité à y répondre correctement, rappelons-le. Le problème 7 est perçu différemment par les élèves (HCS) et les enseignants (S). Ce résultat est particulièrement questionnant puisqu'il s'agit d'un problème isomorphe et que les résultats pour le problème 4 (réparation de l'ampoule) sont identiques (S et HCS). Pour nous, même si l'item traitait de sciences (la tumeur), il pouvait être considéré comme étant externe au contexte scolaire puisqu'il ne nécessite pas de connaissances académiques formelles.

Tableau 4.18 : Comparaison des résultats obtenus par les élèves et les enseignants à la classification des questions

Questions	Résultats		Résultats enseignant(e)s N = 4	Explications supplémentaires
	élèves N = 13	Explications supplémentaires		
1-Le système électrique	S	Sans aucun doute, en sciences	M et S	capables de voir l'aspect mathématique
2-L'équation chimique	S	Sans aucun doute, en sciences. On ne voit pas l'aspect mathématique.	S	ne voit pas l'aspect mathématique
3-La fenêtre	M	C'est un peu bizarre que les élèves classent cette question en mathématiques.	M et HCS	la vie de tous les jours
4-Réparation de l'ampoule	S et HCS	Cette question est classée en sciences par plus de 50 % possiblement parce que l'électricité est au programme de sciences physiques.	S et HCS	
5-Structure cristalline	S et M	Sciences = contexte et binoculaire Mathématiques = cube parfait	S	traitent la question de façon plus globale
6-Le canot	M et S	Certains sujets ont classé cette question en sciences. (le tableau)	M	
7-La tumeur	HCS		S	.
8-Le détergent	M et S	Dans le cours de sciences physiques, on propose la lecture d'étiquettes (exemple : l'eau de javel) pour faire des calculs de concentration molaire. C'est ce qui a pu pousser certains sujets 7/13 à considérer cette question comme un problème de sciences.	M et HCS	

Par conséquent, les motifs qui poussent à identifier un contexte varient selon la perception de l'individu. Cette perception est certainement influencée par les connaissances antérieures, l'expérience et la formation, pour ne nommer que celles-là.

Dans une étude, Silver (1981) a demandé à des collégiens de grouper des problèmes mathématiquement liés et d'expliquer les bases de leur catégorisation. Il a utilisé 16 problèmes qui pouvaient être représentés par une matrice de 4 x 4. Les étudiants qui réussissaient le mieux formaient des catégories de problèmes sur la base de leur structure mathématique alors que ceux qui étaient le moins aptes à résoudre des problèmes formaient des catégories en se servant des contenus, du contexte. Des résultats semblables furent obtenus quand on demanda aux étudiants de se rappeler des informations sur le contenu des problèmes. Les sujets qui excellaient dans la résolution de problèmes étaient capables de se rappeler des informations concernant leur structure mathématique. Ceux qui étaient moins forts dans la résolution de problèmes se rappelaient rarement une telle information, même si les solutions étaient évoquées avant de procéder au rappel. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans notre recherche malgré des objectifs quelque peu différents.

Les différences d'aptitude dans la catégorisation des problèmes selon leur structure mathématique distinguent également les novices des experts dans les cours plus avancés. Chi, Glaser et Rees (1982) ont demandé à huit novices et à huit experts de trier 24 problèmes de physique dans des catégories basées sur la similarité de leurs solutions. Les novices étaient des étudiants de DEUG qui venaient de terminer leur cours de physique. Les experts étaient des étudiants doctorants du département de physique. Chaque groupe a formé approximativement le même nombre de catégories, mais les problèmes figurant dans ces catégories différaient selon les deux

groupes. Les novices avaient tendance à catégoriser les problèmes sur la base de leurs objets communs, problèmes de ressort ou problèmes de plans inclinés, par exemple. En revanche, les experts étaient enclins à catégoriser les problèmes sur la base des principes de physique qui pouvaient être appliqués pour les résoudre, telles la loi de la conservation de l'énergie et la seconde loi de Newton. Ainsi, comme dans l'expérience de Silver (1981) avec ses étudiants, ceux qui étaient les meilleurs dans la résolution de problèmes étaient également les plus sensibles à la structure formelle du problème.

Le nombre restreint de sujets jeunes (13) et adultes (4) limite toute tentative de généralisation des résultats ou de validation avec la littérature. Toutefois, ces résultats témoignent de la nécessité d'accorder de l'importance à la perception du contexte qui, pour des raisons encore obscures, varie considérablement d'un individu à l'autre.

4.2.4 Comparaison des résultats de l'épreuve et de l'entretien

Les résultats exposés dans le tableau 4.19 proposent une comparaison des réponses obtenues à l'épreuve et à l'entretien. Les niveaux de réponse (scores) sont identiques à ceux utilisés au tableau 4.11.

Tableau 4.19 : Répartition des problèmes à l'épreuve (Épr.) et à l'entretien (Entr.) en fonction des scores obtenus

Sujets	Scores								
	3	2	1	0	3	2	1	0	3
	Épr.	Entr.	Épr.	Entr.	Épr.	Entr.	Épr.	Entr.	
1-1-1-23	1,4,6,7,8	A,B,D,E,F	2	C	3			5	
1-1-2-26	2,3,6,8	A,B,E,F	1	C, D	5			4,7	
1-2-2-28		A,B,C,E,F			3,5,8			1,2,4,6,7	D
1-2-3-23		A, B		D	1,2,6	E	3,4,5,7,8	C, F	
1-2-3-20	3,6	A,B,D,E,F			8	C	1,2,4,5,7		
1-1-3-19	7	A-E	6-8	B,C,D,F	1			2,3,4,5	
1-2-1-24	2,6	A,B,C,D,E,F	1					3,4,5,7,8	
1-2-3-21	3	A,B,C,E	1,2,4,6,7	D	5,8	F			
1-1-3-22	1,6	A,C,F	4,7,8	D	2,8	B	3,5	E	
1-2-2-27	2,4,8	A,B,D,E,F	6	C	1		3,5,7		
2-2-5-30		A	1	F	3	B	2,4,5,6,7,8	C,D,E	
2-1-5-29			1				2,3,4,5,6,7,8	A,B,C,D,E,F	
2-1-4-25	4	F	2	C		A,B,E	1,3,5,6,7,8	D	

Le problème A de l'entretien sur le « balancement d'équation » a été mieux réussi que le problème 2 (isomorphe). Onze des treize sujets ont obtenu un score de 3 à l'entretien. Les élèves maîtrisaient alors mieux le concept de balancement d'équation.

La question B (compose un problème) de l'entretien étant une question ouverte, celle-ci devient difficile aux fins de comparaison et ne sera pas considérée ici. Toutefois, nous constatons que les problèmes élaborés sont généralement très simples, sans contexte et que la réponse proposée comporte parfois des erreurs.

Le problème C (le tableau de données) semble avoir causé beaucoup de difficultés parce que seulement 4 sujets sur 13 ont obtenu un score de 3. Il est possible que la faible performance à cette question s'explique par le fait que le tableau des données comportait des valeurs négatives, que certaines données du tableau se répétaient deux fois et que le sujet devait tracer une droite sur le graphique. Notre expérience d'enseignement auprès d'élèves du même âge nous aide également à porter un regard explicatif. En effet, lorsque la droite d'un graphique passe par des valeurs négatives, plusieurs élèves éprouvent des difficultés au niveau de la lecture et de l'interprétation. Ces observations ont été faites dans de nombreuses classes du secondaire au moment où le chercheur était enseignant.

Le problème du circuit électrique (D) est relativement bien maîtrisé, 9 sujets sur 13 ont reçu un score de 2 ou 3. La difficulté rencontrée se situe principalement au niveau du calcul de la conductance. Certains avaient oublié la formule de la conductance, pouvait-on lire sur des copies. Ils ne semblent pas comprendre ou se souvenir que la conductance soit l'inverse de la résistance. Ce résultat corrobore

notre conception à l'effet que plusieurs sujets « apprennent par cœur » les formules sans en comprendre le sens et les applications diverses. De plus, nous croyons que la difficulté qu'éprouvent plusieurs sujets à isoler une variable dans une formule ou une équation accentue cette problématique.

Lors de l'entretien, huit sujets sur treize ont obtenu un score de 3 pour le problème E traitant de la cartouche d'encre. Il semble y avoir moins d'erreurs qu'au problème 8 (isomorphe) de l'épreuve portant sur le détergent. Nous évoquons des raisons de présentation de données dans le problème même pour expliquer ces écarts de réussite.

Le nombre de scores égale à 3 est de huit sujets sur treize pour le problème F (édifice) alors que les problèmes isomorphes 3 ou 5 de l'épreuve présentent des résultats plutôt faibles en matière de réussite. L'explication plausible viendrait du fait que plusieurs sujets n'ont pas pensé au théorème de Pythagore au moment de l'épreuve. Certains ont choisi de chercher une solution à ces problèmes au moyen de tangentes, par exemple, ou encore, avec des mesures d'angle qui n'apparaissaient pourtant pas sur le dessin.

De façon globale, il est possible de constater que les résultats des 13 sujets en terme de résolution de problèmes sont supérieurs lors de l'entretien. En effet, le nombre de score 3 est plus élevé et le nombre de réponses affichant un score de 0 est plus faible. Des raisons d'intérêt, de temps alloué, du mode de passation ou d'une meilleure maîtrise du contenu pourraient expliquer cette amélioration dans la performance à résoudre des problèmes. De plus, nous avons constaté que les démarches sont plus complètes. Le fait que l'entretien se soit déroulé un mois

après la passation de l'épreuve aurait permis aux sujets de mieux intégrer des concepts mathématiques et scientifiques.

Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de différence marquée entre les élèves des classes de 416 et ceux des classes de 430 tant à l'épreuve qu'à l'entretien. Toutefois, nous constatons que les sujets des groupes D (416) et E (430) sont plus faibles en matière de résolution de problèmes (tableau 4.19). Ces résultats corroborent ceux relevés dans les bulletins scolaires des 13 sujets, tant en mathématiques qu'en sciences.

Le tableau 4.20 présente les moyennes des résultats scolaires des 13 sujets pour les mathématiques, les sciences ainsi que le sommaire annuel.

Tableau 4.20 : Moyennes académiques exprimées en pourcentage pour chaque sujet présent à l'entretien

Sujets	Mathématiques (%)	Sciences (%)	Sommaire (%)
1-1-1-23	83*	82*	80*
1-1-2-26	78	85	82
1-2-2-28	67	76	77
1-2-3-23	69	80	78
1-2-3-20	75	81	83
1-1-3-19	73	78	77
1-2-1-24	88*	90*	84*
1-2-3-21	71	71	73
1-1-3-22	65	61	66
1-2-2-27	71	78	77
2-2-5-30	63	77	76
2-1-5-29	74*	78*	81
2-1-4-25	62	64	68

Note 1: Les pourcentages présentés dans ce tableau sont constitués des moyennes de mathématiques, de sciences et des sommaires annuels pour les niveaux de la 2^e, de la 3^e et de la 4^e secondaire.

Note 2: Les notes suivies d'un astérisque * peuvent contenir des données provenant des secteurs du régulier et de l'enrichi.

La comparaison entre les moyennes académiques (bulletin) et les performances moyennes de transfert (incluant notamment la capacité à établir des liens, à résoudre des problèmes, etc.) des élèves ne peut être traduite comme une relation de cause à effet. Toutefois, on observe néanmoins une association positive entre les deux variables, plus particulièrement lorsque les moyennes en mathématiques, en sciences et au sommaire sont comparables et élevées. Mais, bien que ces comparaisons puissent être intéressantes en soi, l'analyse comparative

indique qu'elles ne suffisent pas pour garantir un niveau de performance élevé, . . . encore moins pour prédire un transfert.

4.2.5 La section 4 de l'entretien

Le tableau (4.21) montre les résultats de la section 4 de l'entretien. Par ces questions, nous invitons l'individu à se prononcer sur la présence de ressemblances entre les huit problèmes de l'épreuve et les six problèmes de l'entretien.

Afin de mieux interpréter les réponses des sujets pour la quatrième section, rappelons les trois questions de cette section :

- A- Parmi les problèmes de la section 3 (RDP) dans l'entretien, lesquels te paraissent semblables et pourquoi?
- B- Toujours dans la section 3, est-ce qu'il y avait des problèmes différents à ceux présentés dans l'épreuve? Oui/Non Pourquoi?
- C- Est-ce qu'il y avait des problèmes semblables à ceux présentés dans l'épreuve? Oui /Non. Lesquels?

Tableau 4.21 : Réponses obtenues dans l'entretien (section 4)

	A	B	C
1-1-1-23	B et C résistance avec graphique E et F proportions A et D sciences physiques	Question C (entretien) plus rapport avec maths	A) Le balancement d'équations, la dernière ou l'avant dernière B) Il fallait trouver le taux de variation D) Le problème est semblable car il fallait trouver la résistance E) Il y avait un problème presqu'identique celui avec ... le nombre de lasers F) C'est surtout la fenêtre
1-1-2-26	B et C le graphique	Pas mal semblables	A) Le balancement d'équations, y'en avait une semblable aussi B) Non pas le B, c'est moi qui l'a faite (rire) D) Il y en avait une identique à cause de la formule $U = RI$ E) Pas mal identique, celle du détergent, des proportions. F) Pythagore, y'avait la fenêtre
1-2-2-28	B, E et F, D des proportions E et F, le produit croisé	D pas de circuit électrique B pas certain	A) Le balancement d'équations C) Le taux de variation E) Avec l'exemple de l'épicerie
1-2-3-23	B, D et E, les rapports	C, fallait trouver les données dans le tableau B, pas vraiment de renseignement F	A) Le balancement d'équations B) La pente ça dépend là, moi j'ai choisi celle là D) Ça avait rapport avec l'électricité
1-2-3-20	B et C, le graphique	Même style de questions	A) Ressemble à $H_2 + O_2$ B) Ressemble à un autre, mais je ne me rappelle plus laquelle D) Ressemble à celle du circuit électrique E) Le détergent F) La fenêtre
1-1-3-19	B et C, le taux de variation E et D, isoler et faire une division	Pythagore (F), chu pas sur si y'en avait une.	A) Le balancement d'équations, il y en avait dans les deux. C) Le taux de variation y'en avait dans l'autre aussi. E) Pour le prix le plus avantageux, y'en avait dans l'autre aussi.

	A	B	C
F, B et C, le triangle avec le graphique			
1-2-1-24	B et C, le graphique D et E le rapport A et F, l'algèbre	Rien	A) Le balancement d'équations B et C) À cause du graphique E) Avec celle du détergent F) Ressemble à celle de Pythagore.
1-2-3-21	A et C, les équations B et E, le rapport ou le taux de variation D et F, trouver des données	C, fallait remplir le tableau et faire le graphique	oui
1-1-3-22	B et C D et F	F, car y'avait pas de Pythagore là dedans	B, D, A
1-2-2-27	B et E, les proportions	F est différente	A) À cause du balancement d'équations B) Il me semble qu'on l'avait vu C) On avait une question comme ça, mais on n'avait pas le graphique D) Le reste de l'enregistrement est inaudible
2-2-5-30	A, B et D sciences physiques C, E et F en maths	C, parce que j'ai rien compris D parce que y'avait pas de schémas comme ça	A) Le balancement d'équations B) Le taux de variation, (le canot je pense) C) Je n'ai rien compris F) Pythagore, la fenêtre c'est tout le temps la même formule
2-1-5-29	données manquantes	données manquantes	données manquantes
2-1-4-25	données manquantes	données manquantes	données manquantes

Note : Les données manquantes pour deux sujets sont dues à un bris de l'enregistrement.

En analysant la question A, il est possible de constater que les problèmes B (compose un problème), D (circuit série), E (les cartouches d'encre) et F (la hauteur de l'édifice) de l'entretien sont souvent associés aux proportions, aux rapports, aux produits croisés. D'ailleurs, le problème B est fréquemment relié au problème C (trace un graphique), car plusieurs sujets ont composé un problème d'électricité ou nécessitant le recours à l'utilisation d'un graphique.

La question B vérifiait la perception quant aux différences entre les problèmes à résoudre de l'épreuve écrite en comparaison avec ceux de l'entretien. Les réponses sont assez limitées et peu explicites. Lorsque les sujets mentionnent des différences, ils les situent principalement au niveau des questions C et F de l'entretien. Pour le problème C, les raisons évoquées sont : « remplir le tableau et faire le graphique ».

Quant au problème F, l'explication est orientée vers l'absence du théorème de Pythagore dans l'épreuve. Pourtant, il y avait deux problèmes, celui de la fenêtre et celui du minéral. Reste à savoir pourquoi les sujets n'ont pas fait mention des problèmes de la réparation de l'ampoule et de la tumeur comme étant différents et surtout absents de l'entretien? Ces problèmes avaient pourtant été retenus pour notre catégorie « hors contexte scolaire ».

La question C (problèmes semblables entre ceux de l'épreuve et ceux de l'entretien) est de loin celle qui a laissé émerger un plus grand nombre de réponses. Pour expliquer cette proportion élevée, il va s'en dire que nous nous en remettons à l'objet même de la question.

Le problème A (balancement d'équation) de l'entretien semble avoir été facile à identifier et à associer. Parmi les données disponibles, on dénote neuf sujets sur une possibilité de onze. Le résultat s'explique fort probablement par la simplicité de la question; elle faisait sens pour plusieurs élèves parce qu'elle nécessitait une faible capacité de stockage cognitif ou simplement en raison de sa grande ressemblance avec son isomorphe (le deuxième problème dans l'épreuve).

Les résultats quant aux ressemblances ou aux différences confirment, une fois de plus, la pertinence, l'importance accordée et le pouvoir d'influence de certains éléments contextuels du problème. Selon le cas, le contexte favorise sans aucun doute la prise de décision, cette dernière fusse-t-elle bonne ou mauvaise. Par exemple, le problème A de l'entretien portant sur le balancement d'équation est facilement jumelé à son problème isomorphe (2) dans l'épreuve. Ainsi, certains sujets apparient leurs réponses à partir des disciplines d'origine alors que d'autres y vont sur la base des concepts. Pour nous, le premier cas est un bel exemple d'un lien de surface (qualité moyenne) alors que dans le second cas, l'établissement du lien trouve ses origines en profondeur, au niveau de la structure même du problème. La problématique est d'autant plus complexe à l'examen des résultats présentés dans le tableau ci-dessus. Un même sujet peut découvrir des ressemblances ou établir des liens de qualités différentes pour une même série de questions. On constate, à la lecture du tableau précédent, que le sujet (1-1-1-23), par exemple, a répondu « compose un problème et la relation » en précisant qu'il s'agit de résistance avec un graphique alors qu'il lie les problèmes *de l'équation à balancer et le circuit électrique* à partir des bases disciplinaires (en sciences physiques). Ce sujet établit ainsi des relations à partir de deux niveaux, donc deux référentiels différents.

Ce résultat nous amène à questionner le rôle que pourrait jouer cette qualité des liens dans l'exécution d'un transfert et sur l'importance des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles. Nous y reviendrons au chapitre 5.

4.3 Analyses et interprétation de l'entretien selon les trois concepts mathématiques

Les deux outils élaborés intègrent les trois concepts mathématiques retenus, en l'occurrence le taux de variation, les proportions et le théorème de Pythagore. Il nous apparaît intéressant de regarder nos résultats en fonction des contenus mathématiques puisque l'objet de notre thèse est centré sur le transfert de connaissances mathématiques vers les sciences.

4.3.1 Le taux de variation

Pour plusieurs, des difficultés sont rencontrées avec la portion électricité (les problèmes 1 et D). Pour le problème comportant l'équation $k = 3t + 9$, la consigne amenant à compléter le tableau de données nous apparaît une problématique palpable. De plus, plusieurs éprouvent de la peine à produire un graphique que suggère le problème. La présence de valeurs négatives semble être l'explication première de cette difficulté.

Dans l'ensemble, le concept de taux de variation est bien compris et la formule $y_2 - y_1 / x_2 - x_1$ est connue des élèves. Le problème sur le canot (6) a donc été réussi par une grande proportion d'élèves. Toutefois, les problèmes 1 (système électrique) et D (deux résistances en série) étant contextualisés à l'électricité causent

un obstacle supplémentaire quant à la résolution du problème et du contexte. En effet, on remarque que le taux de variation, lorsqu'il relève purement des mathématiques est généralement bien utilisé alors que dans un contexte de sciences, notamment en électricité, le niveau de difficulté semble s'accroître. Cela pourrait être directement lié à une problématique au niveau de la perception du contexte dont la présence de formules, de symboles, etc. autres que ceux considérés comme plus généraux.

Pour la question C de l'entretien, le fait d'avoir un tableau de données à compléter et une équation avec une portion négative cause une difficulté additionnelle. Seulement quatre l'ont réussie!

Tout ceci nous porte à considérer que le concept de taux de variation est mieux compris lorsqu'il est purement mathématique et partiellement compris si la situation contextuelle de la question est de nature scientifique. L'association de nouveaux éléments mathématiques est plus facile avec le langage symbolique (termes, symboles, schémas, graphiques). Notamment en sciences, le langage commun s'ajoute au langage symbolique des mathématiques et des sciences ce qui relève le niveau de difficulté. Il n'est donc pas surprenant de voir des élèves éprouver de la difficulté avec le calcul de la conductance (seulement cinq sur treize l'ont réussi). La synthèse du chapitre cinq permettra d'entrevoir des pistes de solution pour contrer, espérons-le, l'effet de la perception du contexte en situation de transfert potentiel.

4.3.2 Les proportions

Les difficultés rencontrées au niveau des problèmes 2 et A (balancement d'équations chimiques) s'apparentent davantage à une problématique de contenu mathématique (algèbre, etc.) ou de contexte lié aux sciences, car les proportions dans un cadre mathématique sont relativement bien comprises pour des élèves de ces niveaux.

Or, les manipulations d'équations et de formules scientifiques requièrent aussi des mathématiques : des calculs sont nécessaires pour balancer des équations en chimie. En fait, une équation chimique est similaire *to a mathematical formula in its application. It is evident that mathematics has much to offer chemistry, biology and other science objects* (Trowbridge *et al.*, 2000, p. 164).

Pour le problème 8 sur le détergent, la quantité nécessaire pour exécuter une brassée semble être problématique. « *Doit-on diviser le nombre de kilogrammes par le prix ou le prix par le nombre de kilogrammes?* », question que semblent se poser plusieurs élèves. En soit, ce problème ne représente pas de grandes difficultés si ce n'est l'élément du 95 grammes nécessaires pour faire une brassée.

Quant au problème E (cartouches d'encre), l'impasse se présente comme suit : diviser le nombre de pages par cartouche ou ramener le nombre de pages imprimées pour un dollar. En 1987, Bastien a proposé à des élèves du secondaire des problèmes d'habillage différent, mais qui se ramènent tous à la même procédure : comparer et ordonner des rapports mathématiques et ce, dans quatre problèmes différents. Il s'avère que le taux de réussite est très sensiblement différent selon celui des quatre

problèmes que les élèves ont à résoudre. Tout se passe comme si le contexte pouvait rendre plus ou moins facile la mise en œuvre d'une procédure pourtant uniforme renvoyant à une même structure logique et portant des valeurs numériques identiques. Il n'y a pas, on le voit, d'automatisme du transfert (Rey, 2001, dans Lenoir, Rey et Fazenda, 2001) Un sujet qui sait mettre en œuvre une procédure ou une démarche dans un problème donné n'est pas pour autant toujours capable de mobiliser la même démarche dans un problème d'apparence différente.

Peu importe le type de problème, il appert que plusieurs élèves associent davantage les proportions aux mathématiques. Pour eux, le balancement d'équations en sciences physiques ne constitue pas un problème de proportionnalité. En voici un exemple :

« Balancer des équations c'est des sciences physiques et non des mathématiques. Balancer des équations = science ».

(1-1-3-22)

Pourtant, elles sont omniprésentes en sciences physiques. Le calcul de la valeur d'un résistor, le balancement d'une équation et le calcul de la concentration à partir de la formule $C_1V_1 = C_2V_2$, n'en sont que quelques exemples courants.

4.3.3 Le théorème de Pythagore

Le problème portant sur la fenêtre en a embarrassé plusieurs. La plupart des élèves ont répondu à l'aide d'une solution « pratico-pratique » telle « utiliser une règle ou un livre pour vérifier l'angle ». À notre avis, le problème 3 (fenêtre) est plus

difficile que le problème F (édifice), à cause du contexte qui pouvait prêter à confusion.

La structure cristalline (problème 5) ne semble pas être perçue comme un problème pouvant être résolu à partir du théorème de Pythagore. Seulement trois élèves ont proposé de vérifier la longueur des côtés et la mesure de l'angle en exploitant le théorème. Le problème étant probablement loin de leurs pratiques académiques habituelles.

Dans l'ensemble, le problème F (hauteur de l'édifice) semble le mieux réussi des trois problèmes en lien avec ce théorème. Il s'apparente davantage à ce qui est présenté dans les livres et à ce qui est enseigné à l'école. Certains élèves ont toutefois tenté de le résoudre avec une application trigonométrique, mais sans succès. L'exemple suivant expose la réponse fournie par le sujet 1-2-3-23. Il s'agit en fait d'une tentative de réponse à partir de la tangente de 25 degrés. Or la mesure de l'angle n'apparaissait pas sur le schéma accompagnant l'énoncé du problème. De plus, l'exposé de la formule est erroné.

$$\tan 25^\circ = \underline{\sin X}$$

71

$$x = 33,11 \text{ m}$$

Cette procédure témoigne bien du rôle et du pouvoir de la mémoire et des connaissances antérieures; certains groupes venaient tout juste d'étudier la loi du sinus dans le cadre de leur cours de mathématiques.

4.4 Analyses et interprétation de l'entretien selon les indicateurs retenus

4.4.1 Les bases de connaissance

Les connaissances antérieures sont à la base de toute démarche de construction du savoir ou d'une démarche de résolution de problèmes. Dans ce cas-ci, il a été possible de constater que la plupart des élèves en provenance des groupes enrichis (430) ont plus de connaissances de base, les expriment mieux ou sont capables d'aller davantage en profondeur par rapport à leurs camarades des groupes réguliers. Aussi, nous avons pu remarquer que les résultats en RDP tant à l'épreuve qu'en entretien sont légèrement supérieurs et s'expliquent notamment, par une meilleure maîtrise des concepts. Ces résultats corroborent les études de Richard (1994b) sur la notion de novicité. Ce dernier classe les problèmes à partir des similitudes de surface ce qui nuit à la RDP et au transfert.

Il semble clair, dans le cas présent, que les élèves qui, potentiellement, savent résoudre le problème, et qui disposent des connaissances opératoires nécessaires, échouent en raison du contexte et de l'interprétation qu'ils en font (Julo, 1995). Dès lors, si les connaissances de base sont absentes, voire peu solides, elles hypothèquent leurs possibilités d'effectuer des transferts de leurs apprentissages (Brouillette, 2002; Haskell, 2001; Presseau 1998). C'est d'ailleurs ce qui pourrait expliquer l'obtention des résultats légèrement supérieurs en matière de résolution de problèmes pendant l'entretien.

4.4.2 L'organisation des connaissances

Les attributs fondamentaux, caractéristiques qui rendent une idée unique parmi d'autres, sont les indices de différence que les élèves peuvent intégrer à leur processus de stockage (Sousa, 2002). Une meilleure organisation favoriserait ainsi la mise en place de mécanismes de gestion de la mémoire et d'organisation des connaissances. Qu'il s'agisse de connaissances déclaratives, procédurales ou conditionnelles, ces connaissances ont un sens et une clarification s'impose afin que l'élève puisse s'en servir lorsqu'il le juge à propos.

Lorsque nous avons abordé les questions traitant de l'étude et des stratégies d'apprentissage avec les 13 sujets, leurs réponses furent très limitées, principalement au regard des méthodes d'organisation des connaissances. Plusieurs développent des algorithmes de résolution de problèmes et les appliquent sans trop y réfléchir. Diverses techniques dont celles des cartes conceptuelles qui, par exemple, favorisent l'intégration et la rétention, ne semblent pas être connues ou employées par les sujets présents à l'entretien.

L'examen de la section RDP de l'épreuve écrite et de l'entretien fait ressortir, divers éléments d'une organisation problématique des connaissances. Ainsi, les réponses fournies par le sujet 2-1-5-29 témoignent bien des difficultés éprouvées à résoudre les problèmes B, D et F de l'entretien. Les pages suivantes présentent des exemples de réponse provenant de ce sujet.

B) Compose un *problème de sciences (question)* en y incluant *un* des concepts mathématiques suivants:

- ✓ La pente(taux de variation)
- ✓ Les proportions
- ✓ La relation de Pythagore

Par la suite, trouve la **solution** et indique la réponse dans les espaces réservés à cette fin.

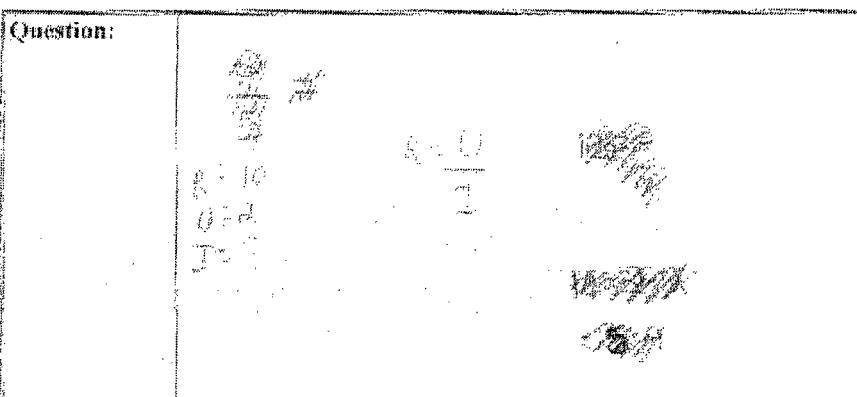
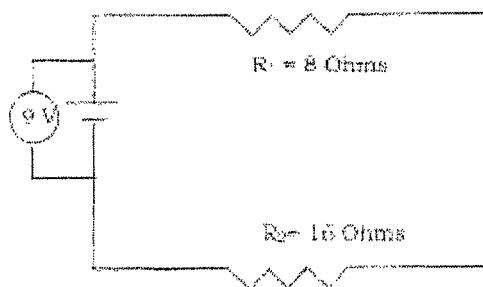
Question:	
Solution:	$10 = \frac{30}{x}$ $10 = 30 \times x \div 30$
Réponse:	

Figure 4.7 : Exemples de réponse du sujet 2-1-5-29

D) Soit le circuit suivant présentant deux résistances (résistors) en série:



Quel est l'intensité du courant total (I_{tot}) qui circule dans ce circuit ?

Quel est l'intensité du courant (I_1) qui circule dans la résistance R_1 ?

Quel est l'intensité du courant (I_2) qui circule dans la résistance R_2 ?

Calcule la conductance (G) du circuit.

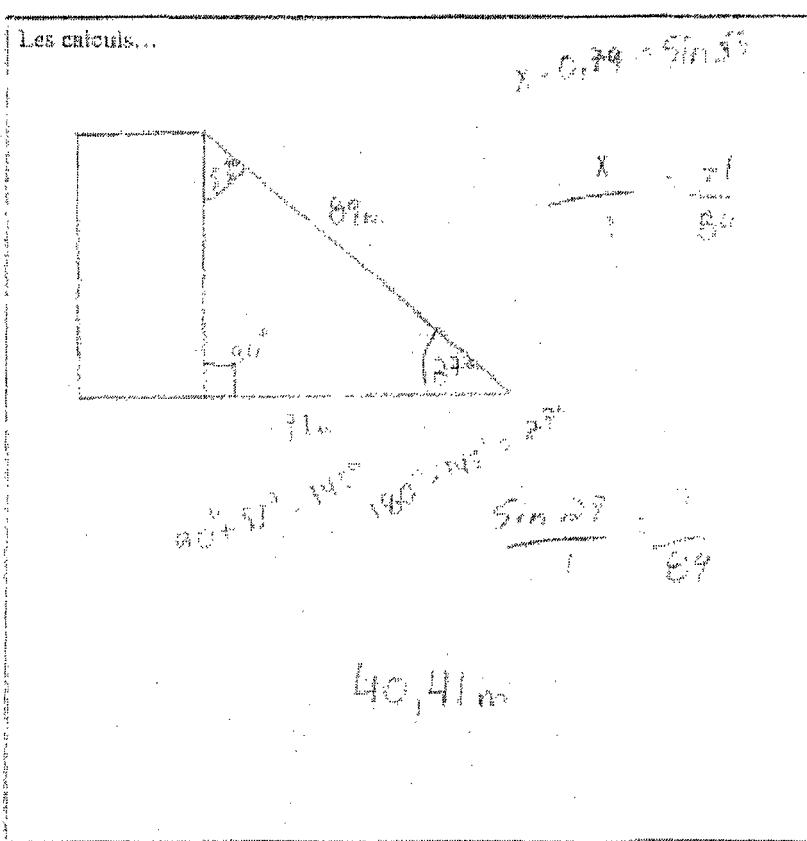
Les calculs...

$$\begin{aligned}
 & I_{\text{tot}} = \frac{U}{R_{\text{tot}}} = \frac{U}{R_1 + R_2} \\
 & I_{\text{tot}} = \frac{9}{8 + 16} = 0,4375 \text{ A} \\
 & I_1 = I_{\text{tot}} = 0,4375 \text{ A} \\
 & I_2 = I_{\text{tot}} = 0,4375 \text{ A} \\
 & G = \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{8 + 16} = 0,05 \text{ S}
 \end{aligned}$$

F) Calcule la hauteur de l'édifice représenté dans la figure ci-contre.



Les calculs...



· À regarder les éléments de réponses et leur disposition fournis par ce sujet, nous pouvons déjà percevoir une certaine difficulté à structurer sa pensée. Il s'agirait alors d'un problème de méthodologie de travail. Diverses recherches (Bransford *et al.*, 1990; Huteau *et al.*, 1994; Novak, 1995) insistent sur le fait que l'habileté au transfert est entre autres, conditionnée par l'organisation des connaissances : Plus le savoir d'une personne est organisé ou structuré, plus il devient facile pour cette personne de l'utiliser (Laliberté, 1995a et b ; Maingain *et al.*, 2002).

4.4.3 Les similitudes

Le fait que deux problèmes, dans le champ des mathématiques ou dans celui de la physique par exemple, présentent sous un certain angle, une structure homologue, ne garantit pas qu'un sujet qui sait résoudre l'un puisse automatiquement résoudre l'autre. Entre autres, les termes des énoncés (le langage propre à chacune des disciplines) peuvent favoriser ou entraver la reconnaissance de la similitude profonde (Maingain *et al.*, 2002).

Lors de notre étude, les sujets ne savaient pas que certains problèmes étaient semblables sur le plan de la structure, nos intentions étant justement de vérifier s'ils pouvaient l'anticiper et reconnaître les liens.

La solution des problèmes 4 et 7 nécessiterait de diviser les rayons afin qu'ils n'aient une grande intensité que lorsqu'ils convergent sur le filament de l'ampoule ou sur les tissus de la tumeur. Bien que cela soit une solution astucieuse, Duncker (1945) n'a trouvé que très peu de sujets résolvant le problème de cette façon. Il n'est donc pas surprenant que nos élèves aient éprouvé de la difficulté avec un problème

analogue. Pas étonnant non plus de voir un nombre limité de sujets pouvant faire des liens entre le problème 4 (réparation de l'ampoule) et son problème isomorphe, le problème 7 (la tumeur).

Gick et Holyoak (1983) ont montré, à partir de leurs résultats de recherche, que certains sujets pouvaient générer une solution analogue quand ils y étaient incités, mais qu'ils ne reconnaissaient pas spontanément la similarité entre deux problèmes. Ces mêmes auteurs poursuivent en affirmant que les sujets ont davantage tendance à former ce schéma général s'ils ont lu et comparé les deux histoires analogues avant d'essayer de résoudre le problème du rayonnement, par exemple.

Bien qu'ils soient logiquement équivalents, un problème source est, selon Ghiglione et Richard (1995), psychologiquement plus facile à résoudre qu'un problème cible. Nos résultats permettent de nuancer cette idée (tableau 4.9). En effet, il devient très difficile d'avoir deux problèmes entièrement isomorphes au niveau de la structure. L'isomorphisme entre deux problèmes ne garantit pas non plus qu'ils sont d'égale difficulté pour les sujets humains (Simon, 1979, cité dans Bastien, 1987). Les éléments de surface sont importants et viennent influencer la capacité à établir un lien. Pour nous, quand le sujet peut reconnaître la structure du second problème, le transfert devient « presque » automatique. Pour plusieurs, la difficulté se situerait au niveau des éléments de surface, l'habillage du problème. D'ailleurs, les élèves jugés faibles se laissent confondre davantage par cet habillage ce qui nuit à l'établissement d'un lien, peut-être même à la résolution du problème.

4.4.4 Le contexte

La mise en place d'une notion, d'un modèle théorique, d'une compétence ou encore d'un outil est, dans bien des cas, liée à un contexte disciplinaire. Cet ancrage disciplinaire peut constituer un obstacle dans le cas où l'on tente un transfert transdisciplinaire. C'est en multipliant les occasions de transfert transdisciplinaire des connaissances et des compétences que l'on favorise leur maîtrise transversale par les élèves. La pratique du transfert transdisciplinaire par les apprenants est d'ailleurs considérée plus aisée lorsqu'elle est gérée collégialement par les enseignants de diverses disciplines concernées (Maingain *et al.*, 2002).

Nos résultats concernant le contexte d'un problème nous permettent d'affirmer que l'élève travaille rarement à la situation proposée par l'enseignant, mais bien sur la représentation qu'il s'en est construite. Il est aujourd'hui établi que l'isomorphisme ne permet en rien de prédire le transfert des connaissances construites dans une situation vers leur utilisation dans une autre situation, cette dernière fut-elle isomorphe à la première (Jonnaert, 2002a et c; Richard *et al.*, 1990)

Que ce soit pour les élèves ou pour les enseignants, la représentation d'une situation problème ou la perception d'un contexte dépend de plusieurs facteurs. Elle est le résultat d'une véritable activité mentale mettant en œuvre tout un ensemble de processus chargés de traiter les informations issues de cet environnement. Ainsi, Scribner a constaté qu'un groupe de poseurs de tapis experts qui arrivaient à faire des calculs arithmétiques sans fautes dans le cadre de leur travail avaient obtenu des notes médiocres à des épreuves d'arithmétique où l'apprentissage était décontextualisé (Mikulecky, Albers et Peers, 1994). Ces résultats sont en accord avec ceux de

Carraher et ses coauteurs (1987) qui ont étudié et comparé les capacités mathématiques de jeunes brésiliens dans la rue et à l'école.

Avec l'indicateur sur les similitudes, l'indicateur de contexte est de loin celui qui se démarque de nos résultats. Plus que jamais auparavant, la notion de perception du contexte prend tout son sens et devient un élément central dans une démarche visant le transfert (Samson, 2002a). C'est à partir de la perception du contexte que l'établissement d'une similitude pourra se faire et espérons-le, favoriser le transfert.

4.5 Seconde analyse à partir de la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

Pour assurer la plus grande validité possible des résultats, compte tenu de la complexité et de la multidimensionnalité du fonctionnement intellectuel, les résultats des 13 sujets présents à l'épreuve et à l'entretien ont été soumis à une seconde série d'analyses. Cette analyse poursuit une double intention. La première a comme but une meilleure compréhension des résultats, un approfondissement de ceux-ci. La seconde a des visées méthodologiques pouvant répondre à une triangulation et à une plus grande pertinence des données.

Il s'agit là d'un autre aspect distinctif de notre recherche quant à la poursuite de l'analyse et de l'interprétation des données recueillies à partir d'une grille basée sur la typologie retenue quant aux trois types de connaissances.

4.5.1 Analyse à partir des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

Pour tenter d'approfondir notre compréhension et l'interprétation des résultats, nous reprenons, section par section, les résultats obtenus à l'entretien à partir de la grille des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles (voir tableau 3.10).

Ainsi, la section 1 (questions sur l'école) visait à faire parler l'élève sur différentes dimensions dont l'étude, les stratégies d'apprentissage, le rôle de la mémoire, etc.

La série de tableaux présentée ci-dessous est divisée en deux parties. Pour chaque paire de tableaux, la première série présente le nombre d'occurrences relevées dans le discours des sujets à partir des questions QUI? QUOI? COMMENT? OÙ? QUAND? et POURQUOI? La seconde série expose les résultats transformés en pourcentage pour chacun des sujets.

Tableau 4.22 : Nombre et pourcentage d'occurrences par sujet selon la typologie des types de connaissances dans la section 1-Questions sur l'école

	Sujets												
	Nombre d'occurrences dans le discours												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	10	13	5	6	23	39	40	30	17	24	10	24	n.a.
procédurales	29	17	7	19	27	39	49	35	17	20	15	21	n.a.
conditionnelles	4	5	1	2	6	19	21	24	7	15	8	13	n.a.
Total	43	35	13	27	56	97	110	89	41	59	33	58	n.a.

Note : n.a. : les résultats ne sont pas audibles.

	Sujets												
	Pourcentage												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	23	37	38	22	41	40	36	34	41	41	30	41	n.a.
procédurales	67	49	54	70	48	40	45	39	41	34	46	36	n.a.
conditionnelles	10	14	8	8	11	20	19	27	18	25	24	23	n.a.

Note : n.a. : les résultats ne sont pas audibles.

L'examen des résultats obtenus à partir des questions sur l'école (étude, devoir, intérêt, etc.) permet de dénoter, du moins en terme de proportions, une dominante du côté des connaissances procédurales. Pour plusieurs sujets, le pourcentage de réponses procédurales frôlent et, dans quelques cas, dépassent même les 50 %. Ceci s'explique puisqu'il s'agit pour l'élève de s'exprimer sur « sa façon de faire », sur sa procédure. Toutefois, la manière de résoudre un problème, tant dans la section 1 qu'ailleurs dans l'entretien semble ardue à expliciter pour la plupart des sujets rencontrés. La rareté des études ayant utilisé une approche similaire à la nôtre en terme d'interprétation des réponses rend difficile sinon impossible la corroboration des résultats.

La section 2 donnait l'occasion aux sujets de revenir sur les réponses fournies lors de l'épreuve, peu importe que les réponses soient jugées correctes ou non. Le tableau 4.23 y expose les résultats ainsi obtenus.

Tableau 4.23 : Nombre et pourcentage d'occurrences par sujet selon la typologie des trois types de connaissances dans la section 2- Retour sur l'épreuve

	Sujets												
	Nombre d'occurrences dans le discours												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	55	48	38	44	64	69	87	82	55	60	56	50	24
procédurales	41	21	21	20	20	33	44	33	18	24	23	23	17
conditionnelles	21	9	8	23	26	28	29	41	18	23	20	26	8
Total	117	78	67	87	110	130	160	156	91	107	99	99	49

	Sujets												
	Pourcentage												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	47	62	57	51	58	53	54	53	60	56	57	51	49
procédurales	35	27	31	23	18	25	28	21	20	22	23	23	35
conditionnelles	18	11	12	26	24	22	18	26	20	22	20	26	16

Les résultats de la seconde partie du tableau (4.23) témoignent bien de l'importance accordée aux connaissances déclaratives et ce, même lorsque l'on discute de problèmes déjà résolus. Dans neuf cas sur treize, les pourcentages (2^e partie) sont supérieurs à 50 % (résultats en caractères gras). Il est bon de noter que le quatrième, le cinquième, le sixième, le huitième et le neuvième sujets sont des élèves de niveau 5^e secondaire; le nombre d'occurrences (1^{ère} partie) est en général plus élevé que la moyenne observée chez leurs camarades de 4^e secondaire. Cette constatation vient également appuyer un résultat obtenu au tableau 4.24.

Le tableau 4.24 arbore les fréquences des réponses obtenues des 13 sujets pour chacune des questions de la section 3 de l'entretien (6 parties). La présentation sous forme de pourcentage permet de comparer des sujets ou la fréquence des réponses selon la taxonomie retenue.

Tableau 4.24 : Synthèse des réponses obtenues aux sous-questions (exprimées en proportions) de l'entretien selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

		Sujets												
		Pourcentage pour la sous-question a (...connaissances mathématiques ou scientifiques...)												
		1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances														
déclaratives		50	82	58	54	68	56	63	43	61	67	55	55	69
procédurales		44	18	42	23	11	28	30	17	36	21	15	45	61
conditionnelles		6	0	0	23	21	16	7	39	3	12	30	0	0
Pourcentage pour la sous-question b (...résolution de problèmes...)														
déclaratives		38	66	100	0	67	50	40	59	56	42	65	63	33
procédurales		56	17	0	0	33	50	40	10	22	25	35	25	50
conditionnelles		6	17	0	0	0	0	20	21	22	33	0	12	17
Pourcentage pour la sous-question C₁ (...dans tes cours de sciences physiques...)														
déclaratives		61	62	67	54	55	57	59	30	53	47	61	56	43
procédurales		18	31	33	23	21	21	19	50	12	32	22	24	43
conditionnelles		21	7	0	23	24	21	22	20	35	21	17	20	14
Pourcentage pour la sous-question C₂ (...dans un autre cours...)														
déclaratives		54	50	67	50	64	44	50	46	73	59	50	50	33
procédurales		13	30	22	14	9	20	19	15	9	12	14	6	17
conditionnelles		33	20	11	36	27	36	31	39	18	29	36	44	50
Pourcentage pour la sous-question C₃ (...dans tes activités quotidiennes...)														
déclaratives		25	43	22	33	53	57	44	46	37	55	30	38	0
procédurales		56	38	0	33	33	29	28	27	19	26	30	23	0
conditionnelles		19	19	78	33	13	14	28	27	44	9	40	38	0
Pourcentage pour la sous-question d (...semblable avec ce que tu sais déjà...)														
déclaratives		50	92	70	50	52	50	50	77	100	67	63	38	43
procédurales		43	8	30	25	15	25	40	18	0	6	25	8	36
conditionnelles		7	0	0	25	33	25	10	5	0	27	12	54	21

Nous repérons des proportions élevées dont les pourcentages sont exprimés en caractères gras en terme de connaissances déclaratives pour l'ensemble des sous-questions (a, b, c et d). Globalement, la proportion de connaissances déclaratives relevée dans le discours des 13 sujets est égale ou supérieure à 50 % pour l'ensemble des sous-questions. Ce fort pourcentage serait compréhensible et attribuable au rôle

actuel de l'école, c'est-à-dire un enseignement axé sur les connaissances de type déclaratif (programme par objectifs).

Ce résultat est tout de même questionnant dans une recherche visant à comprendre le mécanisme qui permet ou non d'opérationnaliser un transfert. Lorsque les connaissances procédurales et conditionnelles sont réduites, voire absentes, le transfert est limité.

Le tableau 4.25 exhibe les réponses obtenues pour l'ensemble des questions de la section 2. Il s'agit du nombre de réponses associées aux types de connaissances pour les treize sujets. Chaque tableau expose les résultats pour chacune des sous-questions (a, b, c et d). Le recours aux caractères gras et aux zones ombragées est rendu nécessaire pour favoriser le repérage.

Tableau 4.25 : Synthèse des réponses obtenues aux sous-questions II selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

Sujets													
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question a (...connaissances/mathématiques ou scientifiques...)													
	1-1-3-23	1-1-2-26	1-2-2-28	1-2-3-23	1-2-3-20	1-1-3-29	1-2-1-24	1-2-3-21	1-1-3-22	1-2-2-27	2-2-5-30	2-1-5-29	2-1-4-25
Connaissances													
déclaratives	8	9	18	19	13	24	36	10	17	16	15	12	11
procédurales	7	2	13	8	2	12	17	4	10	5	4	10	5
conditionnelles	1	0	0	8	4	7	4	9	1	3	8	0	0
Total	16	11	31	35	19	43	57	23	28	24	27	22	16
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question b (...résolution de problèmes...)													
déclaratives	6	4	1	0	4	2	2	13	5	5	15	5	2
procédurales	9	1	0	0	2	2	2	3	2	3	8	2	3
conditionnelles	1	1	0	0	0	0	1	6	2	4	0	1	1
Total	16	6	1	0	6	4	5	22	9	12	23	8	6
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question C₁ (...dans tes cours de sc. physiques...)													
déclaratives	17	8	4	7	18	16	16	3	9	13	11	14	3
procédurales	5	4	2	3	7	6	5	5	2	9	4	6	3
conditionnelles	6	1	0	3	8	6	6	2	6	6	3	5	1
Total	28	13	6	13	33	28	27	10	17	28	18	25	7
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question C₂ (...dans un autre cours...)													
déclaratives	13	10	6	7	7	11	13	12	8	10	7	9	2
procédurales	3	6	2	2	1	5	5	4	1	2	2	1	1
conditionnelles	8	4	1	5	3	9	8	10	2	5	5	8	3
Total	24	20	9	14	11	25	26	26	11	17	14	18	6
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question C₃ (...dans tes activités quotidiennes...)													
déclaratives	4	9	2	2	8	8	11	22	6	6	3	5	0
procédurales	9	8	0	2	5	4	7	13	3	4	3	3	0
conditionnelles	3	4	7	2	2	2	7	13	7	1	4	5	0
Total	16	21	9	6	15	14	25	48	16	11	10	13	0
Nombre d'occurrences dans le discours pour la sous-question d (...semblable avec ce que tu sais déjà...)													
déclaratives	7	11	7	10	14	8	10	17	10	10	5	5	6
procédurales	6	1	3	5	4	4	8	4	0	1	2	1	5
conditionnelles	1	0	0	5	9	4	2	1	0	4	1	7	3
Total	14	12	10	20	27	16	20	22	10	15	8	13	14

À la lecture de ces tableaux, on constate que les sujets 1-1-3-23, 1-2-3-20, 1-3-29, 1-2-1-24, 1-2-3-21 et 1-2-2-27 verbalisent plus (pour quatre sous-questions

dont le total des occurrences est supérieur à **15**) que l'ensemble des autres sujets. Ce nombre a été déterminé à la suite d'une analyse des données. Il nous apparaît significatif étant donné les comparaisons que nous avons effectuées. Parmi ceux-ci (zones ombragées), quatre appartiennent au même groupe-classe et sont de niveau 5^e secondaire; les autres proviennent de groupes différents. Sur les six sujets, cinq sont classés en sciences physiques 430 dont quatre appartiennent au même groupe-classe.

Pour la sous-question a, il a été possible de dénoter cinq sujets (1-2-2-28, 1-1-3-29, 1-2-1-24, 1-1-3-22 et 2-1-5-29) dont le nombre d'unités de sens est égal ou supérieur à **10** (caractères gras) et lié aux connaissances procédurales. Parmi ceux-ci trois sont inscrits en Sciences physiques 430 et deux en Sciences physiques 416.

La synthèse des réponses pour chacune des sous-questions de la section RDP de l'entretien a déjà été présentée au tableau 4.24. Organisés autrement, ces résultats (tableau 4.26) nous font voir certains autres aspects. Le tableau suivant permet de voir le pourcentage des réponses obtenues par les 13 sujets et dont la proportion est égale ou supérieure à 50 %, selon la terminologie des connaissances déclaratives, procédurales ou conditionnelles. Les résultats sont regroupés pour chacune des sous-questions a, b, C₁, C₂, C₃ et d.

Tableau 4.26 : Synthèse des proportions supérieures à 50 % (réponses obtenues) aux sous-questions de la section 2 selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

	Sous-questions					
	Pourcentage					
	a	b	C₁	C₂	C₃	d
Connaissances						
déclaratives	55 55 69 63 61 67 50 82 68 58 54 56	65 63 59 56 66 67 100 50	56 61 59 61 62 53 67 54 55 57	50 50 54 50 59 67 50 64 50 73	53 57 55	62 50 92 77 70 50 100 52 50 67 50
procédurales		56 50 50	50		56	
conditionnelles				50	78	54

Dans l'ensemble, on constate une forte tendance aux connaissances déclaratives. Ainsi, ce type de connaissances dont le pourcentage est supérieur à 50 % a été dénombré 12 fois dans la « sous-question a », 8 fois pour la « b », 10 fois pour la « C₁ », 10 fois pour la « C₂ », 3 fois pour la « C₃ » et 11 fois pour la « d ».

La « sous-question C₃ » est celle qui obtient le taux le plus élevé de réponses partagées entre les trois types de connaissances. A première vue, nous attribuons cette distribution à l'ouverture que laisse une question sur l'établissement de liens avec des activités quotidiennes (hors contexte scolaire).

Pour la « sous-question a », aucun sujet n'a affiché une proportion égale ou supérieure à 50 % de réponses de type procédural ou conditionnel. D'une part, ce résultat peut s'expliquer par le sens de la question qui était formulée ainsi : Quelle(s)

connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème? D'autre part, on peut considérer que le terme « connaissance » est davantage associé, par la plupart des apprenants à un savoir de type déclaratif tels un concept, une loi ou une formule. Alors que pour nous, un sujet aurait pu répondre « savoir exécuter (c.p.) un produit croisé (c.d.) ou se servir (c.p.) de la valeur de la résistance (c.d.) pour calculer (c.p.) la conductance (c.d.) ». Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus pour les trois catégories de connaissances mériteraient d'être approfondis.

Dans le tableau 4.27, sont exposés les résultats de la section 4 de l'entretien qui visait à vérifier les ressemblances et les différences qu'un sujet pouvait percevoir entre les différents problèmes présentés, tant à l'épreuve qu'à l'entretien. Encore une fois, ce tableau est divisé en deux sections : la première présente les résultats des réponses en nombre d'occurrences, la seconde en pourcentage de connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles.

Tableau 4.27 : Synthèse des réponses obtenues à la section 4 selon la typologie des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles

	Sujets												
	Nombre d'occurrences dans le discours												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	11	9	6	6	5	7	5	6	1	2	9	-	-
procédurales	1	0	1	2	0	3	1	2	0	1	2	-	-
conditionnelles	1	0	2	2	5	2	3	2	0	1	3	-	-
Total	13	9	9	10	10	12	9	10	1	4	14	-	-

Note : le symbole – indique que les résultats ne sont pas disponibles pour ces sujets.

Pour la totalité des sujets (11) ayant répondu à cette question (ressemblances et différences), les résultats sont très axés sur les connaissances déclaratives. Ce bilan confirme, une fois de plus, l'importance accordée à ce type de connaissances. Nous traduisons cette tendance par un enseignement axé sur les concepts, les formules, etc. et peu sur la procédure, sur la démarche (connaissances procédurales) ou encore sur des lieux potentiels de réutilisation (connaissances conditionnelles). Ces résultats sont par ailleurs logiques avec un curriculum axé sur des objectifs.

	Sujets												
	Tourcentage												
	1-1-3- 23	1-1-2- 26	1-2-2- 28	1-2-3- 23	1-2-3- 20	1-1-3- 29	1-2-1- 24	1-2-3- 21	1-1-3- 22	1-2-2- 27	2-2-5- 30	2-1-5- 29	2-1-4- 25
Connaissances													
déclaratives	86	100	67	60	50	58	56	60	100	50	65	-	-
procédurales	7	0	11	20	0	25	11	20	0	25	14	-	-
conditionnelles	7	0	22	20	50	17	33	20	0	25	21	-	-

Note : le symbole - indique que les résultats ne sont pas disponibles pour ces sujets.

Les résultats présentés aux tableaux 4.22 à 4.27 sont assez éloquents. On dénote une nette domination de la présence de connaissances déclaratives dans les réponses, qu'elles soient verbales ou écrites, fournies par les sujets interviewés. Pour Sutherland (2002, p. 163), le succès au niveau de la performance en résolution de problèmes *depends on the students' ability to co-ordinate and integrate four different components in their domain knowledge : their conceptual, procedural, situational and strategic knowledge. The students' problem solving performance is complex as it depends not only on the students' proficiency in recalling and applying the relevant components of their conceptual, procedural knowledge, but also on their ability to use their situational and strategic knowledge to analyses the information in the problem and construct an appropriate problem representation* (Sutherland, 2002 p. 178).

La difficulté à étudier un mécanisme aussi complexe que le transfert est mise en relief par les résultats exposés dans ce chapitre, tant par ceux des indicateurs, que des concepts mathématiques et scientifiques à l'étude. Ces résultats soulignent particulièrement que le processus de transfert repose sur une exploitation efficace et adaptative de la structure cognitive de l'apprenant et de l'environnement.

Comment expliquer que des élèves assimilent les savoirs scolaires correctement, mais n'arrivent pas à les mobiliser hors du contexte d'acquisition ? Nos résultats questionnent l'utilisation de stratégies générales. Le rapport au savoir, donc la didactique joue un rôle important dans la capacité à résoudre un problème. Aussi, nous ne pouvons endosser l'utilisation exclusive des stratégies générales d'enseignement. Le prochain chapitre tente d'apporter un éclairage à nos résultats.

CHAPITRE V

SYNTHESE ET CONCLUSION

Le présent chapitre est divisé en deux parties. La première section constitue une sorte de retour sur les quatre premiers chapitres et présente une synthèse des résultats. Cette synthèse est accompagnée d'une discussion permettant de regrouper les résultats du chapitre précédent. Les apports de la recherche et les limites, tant sur le plan théorique qu'au plan méthodologique, y sont également présentés. Cette première partie est complétée par une opérationnalisation des indicateurs de la recherche sous la forme d'un schéma. La deuxième section expose des éléments de conclusion suivis de prospectives de recherche.

5.1 Résumé de la recherche

Le premier chapitre présente la problématique de la recherche se situant au niveau de l'apprentissage des sciences physiques dans un contexte de transfert de connaissances mathématiques. Parmi les problématiques soulevées, le cloisonnement des disciplines, le rôle que la société accorde à l'école et aux matières académiques et les stratégies d'enseignement figurent au premier plan. Puisque peu de recherches ont été consacrées à la problématique du transfert de connaissances entre les mathématiques et les sciences, notre recherche revêt donc, rappelons-le, une dimension exploratoire.

Après avoir situé la problématique du transfert, le second chapitre aborde les principaux concepts relatifs au transfert à partir d'une recension des écrits. Les divers

champs d'application pour lesquels le transfert a fait l'objet d'études y sont exhibés. Diverses définitions sont proposées et permettent de positionner la recherche dans une perspective didactique balisée par une perspective psycho-cognitive de l'apprentissage. Le chapitre expose également une taxonomie du transfert. Les recherches sur l'expertise nous aident au positionnement théorique permettant ainsi de considérer la diversité des capacités entre les sujets. Pour y arriver, l'emploi d'indicateurs nous est apparu essentiel. Les quatre indicateurs retenus ont servi de guide à l'élaboration des outils, mais également à l'analyse et à l'interprétation des résultats. Rappelons que le choix des indicateurs s'est fait sur la base de critères de pertinence dans une étude où la résolution de problèmes mathématiques et scientifiques est au cœur de la démarche. La prise en compte des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles est venue appuyer notre démarche de recherche visant à mieux comprendre le transfert chez des élèves du secondaire. Des précisions conceptuelles se sont avérées nécessaires en cours de rédaction considérant toute l'attention que suggère le transfert dans le cadre de la réforme du curriculum. Ainsi, les notions d'application et de généralisation ont été définies et ont permis de nuancer nos propos. Le chapitre se termine par une présentation des trois questions de recherche.

Rappelons que cette recherche a pour but de mieux comprendre le processus de transfert chez des élèves du secondaire en sciences physiques. Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- 1) de vérifier la pertinence des indicateurs qui caractérisent les élèves pouvant effectuer ou non des transferts;
- 2) de comprendre les différences entre les élèves qui établissent des liens et ceux qui éprouvent des difficultés;
- 3) de dégager des profils individuels en matière de transfert.

Le troisième chapitre expose le dispositif méthodologique, la mise à l'essai des instruments lors de l'étude pilote, l'opérationnalisation des indicateurs, les étapes d'élaboration de l'épreuve mathématico-scientifique et du guide d'entretien. L'étude est décrite à partir de la population à l'étude, la sélection des sujets, la passation de l'épreuve, le déroulement des entretiens et constitue ainsi une portion importante du troisième chapitre. Les modalités d'analyse dont la transcription des données, le codage, la correction des problèmes et le traitement qualitatif complètent ce chapitre.

Le chapitre quatre rend compte des résultats obtenus et des analyses effectuées. S'y retrouve, entre autres, la grille de correction des problèmes de l'épreuve et de l'entretien. Chacune des sections a été analysée à la verticale, puis à l'horizontale. De façon globale, les résultats présentés sous forme d'occurrences, de liens établis tant qualitativement que quantitativement ou selon les indicateurs permettent d'exposer des conclusions intéressantes. De plus, il importe de souligner que les résultats ont été considérés sous plusieurs angles : l'apport des indicateurs, l'utilisation d'une grille de correction qualitative, la présence de trois concepts mathématiques et la catégorisation en connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles.

5.2 Synthèse des résultats

Avant d'amorcer la synthèse des résultats, nous rappellerons brièvement les modalités d'analyse. Nous avons analysé l'épreuve écrite, laquelle comportait huit problèmes à résoudre avec une série de questions et de sous-questions. Pour chacun des problèmes et des questions, les réponses fournies par les sujets ont été analysées.

Retenons que la section résolution de problèmes de l'épreuve, tout comme celle de l'entretien, ont été analysées à partir d'une grille de correction qualitative construite par le chercheur. L'épreuve a fourni des indications précieuses sur la compréhension du mécanisme de transfert. Elle a aussi montré ses limites qui tiennent pour beaucoup à son caractère « d'examen écrit ».

La cueillette des données s'est complétée par une série d'entretiens effectués auprès de sujets appartenant à cinq groupes différents et fréquentant deux écoles secondaires de la région mauricienne. Ces entretiens avaient pour buts de permettre aux sujets d'effectuer un retour sur l'épreuve écrite, de parler d'études et de stratégies, et de résoudre des problèmes semblables. La grille qualitative a été utilisée pour la correction des problèmes (section 3) de l'entretien. L'analyse de contenu et l'utilisation d'une autre grille ouverte permettant le dénombrement des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles complètent cette seconde série d'analyses.

La première question de recherche visait à évaluer les indicateurs qui caractérisent le mieux les manifestations d'un transfert chez des élèves du secondaire. Après analyse, les données recueillies à l'épreuve auprès des 130 sujets et à l'entretien conduit avec 13 sujets nous amènent à plusieurs constatations des plus pertinentes quant aux objectifs de la recherche et aux interrogations qui ont émergé.

Nos résultats sur la similitude indiquent que l'aptitude à parler d'un lien entre deux problèmes ou entre deux situations est différente pour un individu capable d'établir ce même lien mentalement, mais sans nécessairement pouvoir le verbaliser. Il reste à savoir pourquoi certains en traitent et d'autres pas? Toujours dans la même

foulée de questionnement, peut-on véritablement mesurer ou évaluer l'apport et le poids d'un lien, sur le plan pratique, en matière de transfert?

À partir des résultats obtenus, les similitudes les plus éloquentes sont certainement celles des problèmes de balancement d'équations (2 et A) et celles considérées « hors contexte scolaire » (réparation de l'ampoule et la tumeur). Dans le premier cas, les sujets ont, de façon générale, observé cette similitude qu'elle soit à l'intérieur du même outil ou dans des outils différents (épreuve et entretien). Dans le second cas, parce que la similitude ne se manifestait pas en surface, mais bien au niveau de la structure (profondeur), peu de sujets y sont arrivés. Toutefois, ce résultat nous a permis de montrer que pour des problèmes non scolaires, plusieurs sujets éprouvent des difficultés.

D'ailleurs, les élèves jugés les plus faibles semblent se laisser prendre plus facilement et se rappeler plus difficilement les éléments de structure que les élèves les plus forts. Ce résultat est corroboré par les études de Richard (1994a et b). De façon globale, les sujets les plus faibles sur le plan académique (tableau 4.20), et chez qui la résolution de problèmes est plus laborieuse, se laissent prendre plus facilement par des indices de surface.

Globalement, les performances en matière de RDP sont quelque peu décevantes considérant le niveau de difficulté et les connaissances de base limitées que suggéraient nos outils. Cette faible performance pourrait s'expliquer par l'intérêt des sujets ou par le style plutôt inhabituel de l'épreuve utilisée.

Les sujets des groupes 416 se souviennent peu des problèmes et lorsqu'ils s'en rappellent, les éléments retenus sont imprécis ou font référence à des éléments de surface dont ceux du contexte. Cette difficulté pourrait s'expliquer par des capacités moindres de la mémoire ou par un manque de connaissances de base. La structuration cognitive des éléments, notamment l'évocation, peut également faire défaut. Ces résultats confirment ceux de Brouillette (2002) et de Presseau (1998) qui considèrent que si les connaissances de base des apprenants sont peu solides, elles hypothèquent leurs possibilités d'effectuer des transferts de leurs apprentissages.

Les résultats en matière de contexte sont assez séduisants, notamment, lorsque ceux des élèves et ceux des enseignants sont comparés au tableau 4.18. Cela témoigne bien de l'importance que l'individu accorde au contexte et à la perception qu'il en a. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la perception du contexte chez les enseignants est influencée par au moins trois éléments : la formation académique de la personne, son expérience et sa capacité à décontextualiser une situation. Chez les élèves, cette perception peut être teintée par ses expériences de travail et ses connaissances antérieures.

En termes de représentation (perception du contexte), on peut traduire ainsi les faits mis en évidence. Plus l'élève est en situation d'échec, plus il a de la difficulté à interpréter les différents éléments du contexte et à sélectionner les informations pertinentes par rapport à la tâche à réaliser. Le processus de contrôle qui conduit certains élèves (les plus forts et les moyens) à donner une réponse de compromis intervient sans doute peu dans le cas des élèves en difficulté. C'est alors tout le processus de construction de la représentation qui se trouve perturbé par un simple détail du contexte qui n'a pas de rapport direct ni avec l'objet du problème lui-même,

ni avec les connaissances nécessaires pour élaborer une procédure de résolution (Julo, 1995, p. 117).

Suite aux résultats et aux observations qui en découlent, nous avons la conviction que les élèves jugés réguliers ont des capacités de raisonnement logique presque équivalentes à celles des autres élèves, mais que ces capacités sont, le plus souvent rendues inopérantes par le traitement intervenant dans la construction de la représentation ou de la perception du contexte.

L'organisation des connaissances complète les résultats recueillis à partir des indicateurs caractérisant les manifestations d'un transfert potentiel. Les sujets ont eu de la difficulté à se rappeler le contenu de l'épreuve lors de l'entretien. Et lorsque se produisait un rappel, celui-ci était superficiel et surtout axé sur le contenu ou le contexte d'un problème. La plupart des sujets ne pouvaient nommer que deux ou trois éléments. Cela témoigne bien de l'importance que l'on devait accorder à cet indicateur dans notre étude.

À l'examen des traces écrites, tant à l'épreuve qu'à l'entretien, il a été difficile de percevoir si l'organisation des connaissances exposées dans les tentatives de résolution de problèmes pouvait être un indicateur ou non de la capacité à effectuer un transfert. Chose certaine cependant, des sujets se sont heurtés, à n'y voir que la présentation des réponses, à des problématiques au niveau de la démarche. Il semble y avoir une inefficacité relative fondée sur l'enseignement de certaines méthodes de travail ou de stratégies en vue de favoriser le transfert. Nous croyons cependant qu'un cours de méthodologie du travail pourrait faciliter le transfert latéral, par exemple.

De plus, dans la section 1 de l'entretien, l'absence de réponses évoquant des méthodes telles l'utilisation des cartes conceptuelles ou l'emploi de représentations graphiques (Ronis 2002) témoigne bien d'une problématique au niveau de l'organisation des connaissances. Les sujets semblent accorder beaucoup d'importance aux algorithmes, aux formules et aux connaissances déclaratives en général et peu aux deux autres types de connaissances. En accord avec Reed (1999), l'organisation des connaissances en catégories réduirait la complexité de l'environnement et la nécessité d'un apprentissage constant, et permettrait aux élèves de reconnaître des objets, de répondre adéquatement, d'ordonner et d'établir des relations entre différentes classes d'événements. Nous croyons également qu'un nombre plus élevé de stratégies (connaissances procédurales) et l'évocation de lieux, moments et raisons (connaissances conditionnelles) dans l'enseignement pourraient aider les apprenants dans leurs tentatives de transfert. D'ailleurs, qu'il s'agisse de l'entretien ou de l'épreuve, verbalement comme à l'écrit, peu de sujets ont manifesté ou accordé un intérêt particulier à la gestion et à l'organisation des connaissances.

La seconde question visait à mieux cerner les caractéristiques qui permettent aux sujets l'établissement de liens en situation de RDP.

Nos résultats indiquent que les sujets sont très influencés par des éléments de surface, principalement lorsqu'il s'agit de problèmes auxquels ils ne sont pas habitués. En l'absence de connaissances de base, plusieurs sujets vont tendre vers des propositions de solution « pratico-pratique » provenant de leur vécu; ce qui nous apparaît intéressant d'un point de vue didactique et en matière de transfert, comme point de départ vers des stratégies supérieures.

Lors de l'entretien, les sujets ont eu de la difficulté à se rappeler le contenu de l'épreuve. Et lorsqu'il y avait un rappel, celui-ci était superficiel et surtout axé sur le contenu ou le contexte d'un problème. Après un mois, la plupart des 13 sujets ne pouvaient nommer que des éléments de surface. Nos résultats confirment ce que plusieurs chercheurs (Julo, 1995; Jonnaert et Vander Borght, 1999; Richard *et al.*, 1990) qui s'intéressent aux questions de l'apprentissage admettent aujourd'hui : l'élève ne travaille jamais sur la situation proposée par l'enseignant, mais bien sur la représentation qu'il s'en fait.

Les sujets qui démontrent certaines capacités en matière de transfert sont souvent ceux qui abordent un problème par des éléments de structure et sont capables de rappel en profondeur. D'ailleurs, les sujets les plus âgés s'expriment davantage et le plus convenablement.

Nous n'avons cependant pas rencontré, selon nos résultats, beaucoup d'élèves transféreurs; plusieurs semblent toutefois capables d'établir des liens. Ces liens ne sont malheureusement pas garants d'un transfert et demeurent très contextualisés à la vie quotidienne dans la majorité des cas.

Finalement, la troisième question concernait les caractéristiques d'un élève transféreur. Le tableau suivant expose les profils d'un élève qui transfère et d'un élève qui ne transfère pas ou peu.

Tableau 4.28 : Caractéristiques d'un bon et d'un moins bon transféreurs

Description du niveau	Niveaux de transfert Résultats attendus à partir des indicateurs retenus
<p>Le bon transféreur...</p> <ul style="list-style-type: none"> - réussit la plupart des problèmes; - laisse voir des traces d'un transfert possible à partir des réponses qu'il aura fournies; - donne une solution claire qui comporte souvent un schéma et est appuyée par des justifications; - démontre une bonne compréhension des concepts mathématiques et scientifiques; - utilise toutes les informations pertinentes; - est capable de faire des liens avec d'autres situations et va au-delà des strictes exigences du problème. 	<p>Le bon transféreur...</p> <ul style="list-style-type: none"> - ne se fera pas prendre par des traits de surface; - reconnaîtra la similitude entre les questions; - démontrera une bonne organisation des connaissances dans ses réponses; - possédera certainement un bon bagage de connaissances antérieures; - sera capable de résoudre des problèmes contextualisés à l'école, notamment en mathématiques et en sciences; - sera capable de résoudre des problèmes décontextualisés à l'école.
<p>Le moins bon transféreur...</p> <ul style="list-style-type: none"> - réussit un nombre limité de problèmes (par exemple, trois sur une possibilité de huit) et laisse difficilement voir des traces d'un transfert à partir des réponses qu'il aura fournies; - présente une réponse complète ou non, mais qui est basée sur une explication confuse qui ne démontre pas une bonne compréhension des concepts mathématiques ou scientifiques. De plus, il se peut que la solution comporte des erreurs et que le sujet utilise des stratégies inadéquates. Les arguments sont incomplets, les schémas ne sont pas clairs et il est difficile d'identifier les liens perçus; - a de la difficulté à faire des liens entre les questions similaires. 	<p>Le moins bon transféreur...</p> <ul style="list-style-type: none"> - se fera prendre par des traits de surface; - reconnaîtra difficilement la similitude entre les questions; - démontrera une mauvaise organisation des connaissances dans ses réponses; - possédera un bagage limité de connaissances antérieures; - éprouvera des difficultés à résoudre des problèmes contextualisés à l'école, notamment en mathématiques et en sciences; - éprouvera des difficultés à résoudre des problèmes décontextualisés à l'école.

5.3 Principaux apports de la recherche

Cette recherche est prolifique dans la mesure où elle apporte des éléments de réponse satisfaisants. Son caractère exploratoire n'a pas constitué un obstacle tant au plan théorique, que méthodologique.

5.3.1 Aspects théoriques

La théorie cognitive de l'apprentissage et le rôle conféré au transfert présentent des implications intéressantes pour la pédagogie et la didactique en général, plus particulièrement en mathématiques et en sciences. Notre apport se situant au niveau de la didactique dans le domaine de l'apprentissage des mathématiques et des sciences. En effet, cette thèse tente de mieux comprendre le transfert dans une perspective didactique en tenant compte des apports de la psychologie cognitive et du traitement de l'information.

L'utilisation des indicateurs pour essayer de mieux saisir le processus de transfert est certainement l'une des caractéristiques les plus fécondes de notre recherche. Ces indicateurs ont été d'une grande utilité dans l'élaboration des outils et dans l'interprétation des résultats. Si les indicateurs ont été traités séquentiellement, cette section devrait aider à témoigner, entre autres, leur interdépendance. Parmi les indicateurs retenus, certains se sont avérés plus efficaces nous permettant ainsi de mieux comprendre le transfert. Nous passerons en revue chacun d'eux afin d'en faire ressortir les principaux apports théoriques.

Nonobstant ses origines behaviorales, la similitude demeure une conception importante à exploiter dans la recherche d'une meilleure compréhension du transfert. Les différences perceptuelles des élèves et des enseignants quant au contenu mathématique, scientifique et hors contexte scolaire révèlent que la perception ou la première impression lors d'une RDP est d'une grande importance.

Ce ne sont pas tant les tâches en elles-mêmes qui importent pour que le transfert se produise, mais bien la représentation que le sujet se fait de ces tâches et de leur niveau de ressemblance. Le fait que deux problèmes, dans le champ des mathématiques ou dans celui de la physique, par exemple, présentent sous un certain regard, une structure homologue, ne garantit pas qu'un sujet qui sait résoudre l'un puisse automatiquement résoudre l'autre. Entre autres, les langages symboliques peuvent favoriser ou entraver la reconnaissance de la similitude profonde.

Au cours des dernières années, les recherches ainsi que les nombreux écrits en psychologie cognitive et plus particulièrement dans le domaine du traitement de l'information ont beaucoup insisté sur la nécessité de s'intéresser aux connaissances antérieures du sujet apprenant. Le courant socio-constructiviste actuel accorde également une grande importance à ces connaissances de base dans la construction de nouvelles connaissances. Si interpréter et comprendre une nouvelle information n'est possible que sur la base d'informations déjà acquises par l'élève, l'apprentissage est donc l'établissement de liens entre les nouvelles informations et les connaissances antérieures. À cela s'ajoute que l'apprentissage est essentiellement un processus cumulatif et de réorganisation, c'est-à-dire que les nouvelles connaissances s'associent aux connaissances antérieures, soit pour les confirmer, soit pour y ajouter des informations, soit pour les nier. Dans ce dernier cas, plutôt exceptionnel, il y aura

une longue négociation avec les connaissances antérieures avant que les nouvelles puissent les remplacer.

Le sujet retiendra d'autant mieux une nouvelle information qu'elle s'insère dans un ensemble ou dans une organisation qui lui donne sens. On sait aussi que l'absence d'informations préalables suffisantes rend difficile l'acquisition de toute nouvelle information et favorise encore moins un transfert. Les connaissances de base pourraient aussi influencer l'établissement de liens, la prise en compte d'une similitude et l'interprétation d'un contexte.

Il devient difficile de traiter de similitude sans aborder la notion de contexte, les deux étant presque indissociables. La « théorie des éléments communs » de Thorndike stipule que le transfert intervient quand, dans un nouveau problème, des éléments du contexte sont retrouvés et qui pourtant, prévalaient au moment d'un apprentissage antérieur. Les deux contextes, l'ancien et le nouveau, partagent ainsi certaines similitudes, un certain nombre d'éléments communs. Nos résultats indiquent que la théorie se distingue de la pratique en ce sens où la similitude d'un contexte est très influencée par des éléments de surface ou de structure selon les sujets.

C'est par l'établissement de liens successifs, nombreux et signifiants et la mise en relation que l'élève construit ses savoirs en rapprochant l'étranger du familier, le nouveau de l'ancien et l'inconnu du connu. L'élève qui apprend doit pouvoir, par des relations nombreuses, organiser les informations qui lui sont transmises. Cette organisation étend son savoir car elle l'amène sans cesse à établir des liens. La valeur du savoir possédé dépend de la variété, de la précision et de la

pertinence des liens effectués. Ces liens assurent la rétention et facilitent le rappel des savoirs ainsi intégrés.

À la lumière des résultats obtenus, nous constatons que les quatre indicateurs ont une influence mutuelle, parfois simultanée d'où l'importance de tirer des conclusions générales et globales. Ainsi, en l'absence de connaissances préalables qui leur permettraient de résoudre le problème, ou lorsque des éléments du contexte sont de nature « parascolaire », plusieurs sujets vont tendre vers des propositions de solution « pratico-pratique » provenant de leur vécu. D'ailleurs, les problèmes que nous jugions hors contexte scolaire (tumeur et ampoule) lorsque résolus, présentaient des solutions pratiques intéressantes. D'où l'idée de conclure que la similitude et le contexte sont perceptiblement très liés, voire presque indissociables.

Par ailleurs, lorsque le sujet éprouve des difficultés, le recours à des solutions pragmatiques nous apparaît comme une voie de contournement. Les connaissances de base n'étant pas disponibles, le sujet fait référence à ses expériences antérieures afin de tenter une réponse. Le même phénomène se produit si le sujet a de la difficulté à accéder à son répertoire de connaissances à cause d'une problématique d'organisation.

Ces quelques lignes ont permis de tracer un bilan des principaux apports de notre recherche au plan théorique. La prochaine section traitera des aspects méthodologiques.

5.3.2 Aspects méthodologiques

S'appuyant sur nos intentions de recherche et devant la rareté des outils, nous avons fait le choix de construire une épreuve écrite et de réaliser des entretiens individuels. Dans cette recherche exploratoire sur le transfert des connaissances, ces instruments se sont révélés d'une grande utilité pour répondre aux interrogations en matière de résolution de problèmes et de caractéristiques individuelles chez les sujets.

Suite aux résultats obtenus et jugeant de la difficulté qu'occasionne l'utilisation de certaines portions des outils, il pourrait être intéressant, dans une recherche future, d'ajuster quelque peu les instruments. Par exemple, le problème de la structure cristalline pourrait être modifié. D'une part, les résultats ont été décevants quant aux attentes fixées. D'autre part, il semble que ce problème soit un bon exemple d'une situation où les éléments de surface viennent nuire (bruit) aux sujets jugés plus faibles. L'important pour nous, dans le cadre d'une telle recherche se limitait à savoir si le sujet pouvait ou non résoudre le problème et en transférer certains éléments.

Le type d'analyse est certainement l'apport méthodologique principal de cette recherche. D'une part, l'utilisation d'une grille de correction qualitative adaptée de la littérature est intéressante pour les besoins recherchés. Cette grille est simple d'utilisation et répond aux critères convenus pour une recherche exploratoire. D'autre part, l'analyse de contenu à partir des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles nous permet de confirmer certaines hypothèses et de pouvoir opérationnaliser les concepts-clés (figure 5.8) afin d'en tirer des propositions transdisciplinaires qui tiennent compte de ces résultats. Malgré les résultats mitigés obtenus à partir des outils développés, cette recherche demeure féconde parce qu'elle

propose un nouveau regard sur le processus même du transfert en tant que mécanisme pour favoriser l'apprentissage ou en tant que moyen pour évaluer l'intégration d'un apprentissage.

Pour tenter de représenter l'apport et l'interdépendance des indicateurs, une opérationnalisation est proposée.

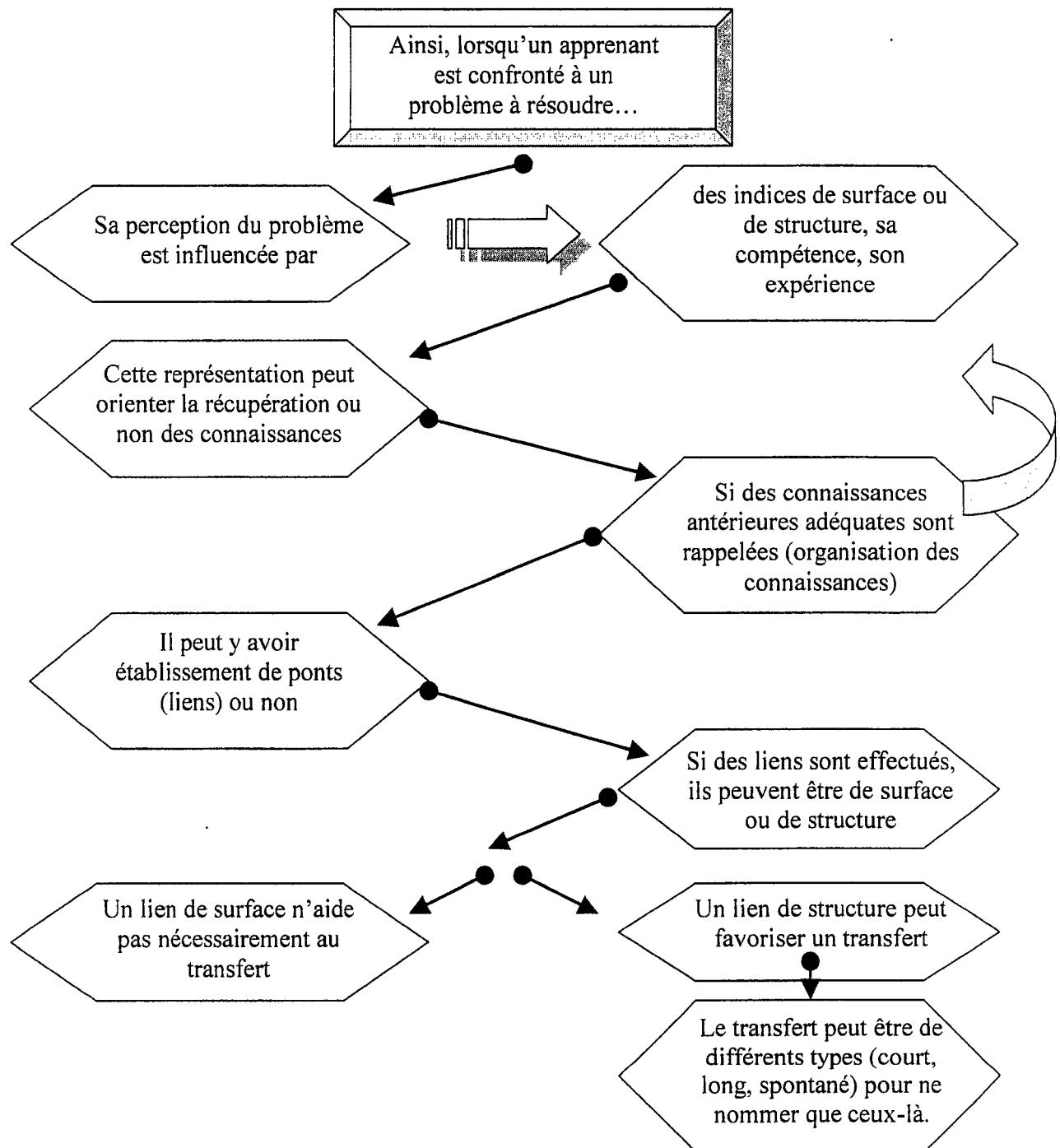


Figure 5.8 : Esquisse en slalom d'une opérationnalisation didactique d'une démarche de RDP en situation potentielle de transfert

L'opérationnalisation que nous proposons ne prétend pas décrire tout ce qui se passe dans les structures cognitives d'un sujet lorsqu'il traite les situations qui lui sont présentées au moment où il répond aux questions. Elle ne vise pas non plus à mettre en évidence un improbable mécanisme unique qui serait commun à tous les sujets. Il s'agit plutôt d'une esquisse cohérente englobant nos observations et dans laquelle chaque cas considéré se représente par un parcours particulier. Nos intentions visent principalement à faciliter la compréhension et à synthétiser nos idées.

5.3.3 Originalité de la recherche

Suite à notre recherche documentaire exhaustive et constamment actualisée, aucune autre recherche ne s'est intéressée au transfert mathématiques-sciences tel que nous le concevons dans une optique plutôt didactique. Nos résultats, quoique nous ne connaissons l'étendue de leur généralisation, offrent certaines pistes en matière d'apprentissage et d'enseignement dans cette même perspective. L'originalité et la pertinence de la recherche se justifient pleinement dans le cadre d'une vaste opération curriculaire telle qu'amorcée au Québec et dans plusieurs pays à l'échelle planétaire.

L'opérationnalisation que nous avons proposée des quatre indicateurs se démarque des recherches consultées et pourrait servir aux études ultérieures en matière de transfert. Aussi, l'emploi de trois concepts mathématiques tels que nous l'avons fait, constitue en soi, une originalité en matière de recherche sur le transfert. Évidemment, ce ne sont pas les seuls possibles.

Les résultats de cette recherche vont finalement plus loin que les intentions de départ qui visaient une exploration des situations de transfert dans l'apprentissage des mathématiques et des sciences. Les résultats nous sensibilisent à des facteurs d'importance dont il faudrait tenir compte dans de prochaines études : la perception du contexte, la typologie des connaissances (déclaratives, procédurales et conditionnelles), la catégorisation et la qualification des liens pour ne citer que ceux-là.

Enfin, les résultats de cette étude se répercutent au-delà de la recherche scientifique. Le monde scolaire peut bénéficier des conclusions et des recommandations qui en découlent pour améliorer le transfert mathématiques-sciences. À ce titre, nous espérons élaborer un programme de formation visant à former et à encourager les enseignants à pratiquer des méthodes transférogènes, principalement dans le domaine d'apprentissage « mathématiques, sciences et technologie ».

5.4 Limites de la recherche

De par la nature exploratoire de notre recherche et considérant le caractère ubiquiste du concept de transfert, certains aspects théoriques et méthodologiques de la recherche méritent d'être discutés.

5.4.1 Aspects théoriques

Parce que le concept de transfert tire ses origines du courant behavioral, son acceptation n'est pas chose faite du côté de la recherche. Certains auteurs dont Jonnaert et Vander Borght (1999) s'entendent aujourd'hui pour dire que le concept de transfert est encore flou et qu'il mérite des précisions conceptuelles. Pour nous, le transfert vise à mobiliser les acquis antérieurs (à partir de trois types de connaissances) provenant des mathématiques et à les réutiliser de façon fonctionnelle et judicieuse dans une situation en sciences. Cette conceptualisation suppose des acquis de base, une organisation des idées, la capacité à dénoter une similitude et à décontextualiser un problème. Le transfert tire son intérêt, entre autres, au niveau de « l'économie cognitive ». Si un sujet apprenant peut se rappeler des éléments d'un problème déjà résolu et qu'il peut en réutiliser une partie dans une autre situation, on dira qu'il y a eu transfert.

Dans le monde scolaire, le concept de transfert est actuellement d'usage courant par certains acteurs de l'éducation. Les grandes réformes en cours en font une utilisation abondante et parfois, malheureusement, certains glissements conceptuels importants surgissent. Par exemple, on parlera de transfert sans nécessairement indiquer où, savoir quoi, pourquoi, quand et comment transférer? On ne distinguera pas non plus l'application pure et simple, d'un transfert (se rapporter à la section 2.5) dans une situation globale et complète. Cette conjoncture abusive risque de nuire à sa reconnaissance particulièrement sur le plan de la recherche et, à sa compréhension et à son utilisation à bon escient par des praticiens.

5.4.2 Aspects méthodologiques

L'analyse et l'interprétation des résultats exigent d'être mises en perspective au moyen de l'identification de certaines limites de la recherche, essentiellement d'ordre méthodologique.

Il ressort des analyses une très grande importance rattachée aux connaissances déclaratives dans l'ensemble des résultats sauf pour les questions liées à l'école, incluant notamment celles sur l'étude et les devoirs. Dans une autre recherche, les outils pourraient être révisés pour tenter de favoriser l'émergence de réponses axées sur les trois types de connaissances : déclaratives, procédurales et conditionnelles. Sur le plan méthodologique, le recours à des situations d'apprentissage plus globales nous apparaît également une avenue intéressante, mais beaucoup plus complexe aux fins d'une recherche.

À la lecture de ce qui précède, l'épreuve a tout de même fourni des indications précieuses sur la compréhension de la RDP et des possibilités en matière de transfert. Elle a aussi arboré des limites qui tiennent pour beaucoup à son caractère « d'examen écrit ». Contrairement à ce que nous avions anticipé, l'épreuve a été moins révélatrice, montrant des sujets souvent désemparés face aux questions et problèmes posés, sujets dont les connaissances restent encore à parfaire. Par ailleurs, l'analyse des résultats aux problèmes et questions de l'entretien révèle qu'il est plus difficile pour les élèves de justifier leur raisonnement que d'effectuer simplement le dit raisonnement.

De façon générale, les sujets verbalisent très peu et il est difficile d'obtenir d'eux qu'ils expliquent ce qu'ils font (Dumas-Carré, Goffard et Gil, 1992). Toutefois, cette tendance est plus marquée chez les sujets en difficultés d'apprentissage. Déjà White (1980) ainsi que Rejd et Knight-Arest (1981) mentionnaient que les sujets en difficultés d'apprentissage manifesteraient : 1) une faible connaissance des stratégies de résolution de problèmes utilisées (connaissance métacognitive); 2) une faible habileté à traduire en mots les stratégies adoptées; 3) une difficulté à planifier et organiser des stratégies de RDP selon une théorie initiale (Houde et Dumas, 1992).

Des trois concepts mathématiques à l'étude, celui du théorème de Pythagore est, de loin, le moins concluant en matière de résultats obtenus; le nombre de sujets ayant pu répondre aux problèmes associés étant très limité. Considérant nos visées (transfert mathématiques-sciences) ce concept mériterait d'être reconsidéré dans une recherche future. D'un point de vue didactique, le théorème de Pythagore devient toutefois intéressant puisqu'il questionne à savoir si l'école actuelle n'enseigne pas ce concept dénudé de tout contexte véritablement signifiant pour un adolescent.

Comme nous l'espérions, les entretiens conduits auprès des treize sujets auront par ailleurs permis un approfondissement du regard jeté sur le transfert. Malgré les nombreuses précautions lors de leur construction, certains problèmes gagneraient à être peaufiner afin de mieux couvrir l'ensemble des indicateurs, principalement en matière d'organisation des connaissances.

Il est important enfin de souligner les limites de cette recherche parce qu'elle conduit difficilement à une généralisation des résultats. Notre recherche s'est déroulée dans un contexte québécois particulier avec des élèves de quatrième et de

cinquième secondaire pendant une période de l'année (mai-juin) plus difficile à certains égards. De plus, la petitesse de l'échantillon rend difficile une généralisation des résultats à une population entière.

5.5 Éléments de conclusion

Nous fournissons ici des explications additionnelles aux trois questions de recherche. Certains éléments touchent particulièrement les caractéristiques des sujets, alors que d'autres traitent des indicateurs utilisés.

Notre première conclusion veut faire écho à ce qui est déjà mentionné quant à la compréhension dans la partie exposant la problématique. Un élève qui intègre un savoir « comprend en profondeur » et peut donc, lorsqu'il en a l'occasion, transférer. Cet élève travaillera généralement à partir d'éléments de structure et de ses connaissances de base. Il est généralement convenu de dire que la qualité et la quantité des connaissances antérieures sont supérieures chez les élèves jugés les plus forts. Un élève sera également en mesure de relever des similitudes entre deux situations. Le contexte du problème ou de la situation n'est pas nécessairement un facteur limitatif aux possibilités de résoudre correctement un problème. Il peut néanmoins handicaper le transfert.

Or, certains courants pédagogiques proposent des méthodes qui favorisent l'appropriation de stratégies générales en vue de favoriser un transfert. Par stratégies de résolution de problèmes, on entend une méthode de résolution assez générale et d'utilité reconnue à laquelle les élèves peuvent avoir recours, tels construire un tableau, résoudre le problème à rebours ou encore se représenter le problème à l'aide

d'un dessin, d'une figure ou d'un diagramme: Cependant, la prise en compte du contenu dans l'identification d'une similitude ou de la stratégie à employer, par exemple, est d'une grande importance pour effectuer un transfert. Alors, la stratégie générale ne peut suffire.

5.5.1 Aspects théoriques

Il découle de cette recherche divers constats théoriques. Parmi ceux-ci, celui des origines, des définitions et de la taxonomie. Débutons d'abord par les origines. Notre recension des écrits nous a permis de creuser les origines du transfert et de tracer les grandes étapes évolutives du concept, depuis sa dominante behavioriale jusqu'à celle plus cognitiviste aujourd'hui. Ses champs d'application variés telles la psychologie, la psychanalyse, la formation continue confèrent au concept son caractère ubiquiste.

Quant aux définitions, nous en exposons un certain nombre au chapitre II avec des conceptions quelque peu différentes : transfert de compétences, transfert d'apprentissage, transfert de connaissances figurent parmi les plus courants dans les écrits relevant de la recherche ou de la pratique. L'idée principale reste toutefois le passage d'une situation initiale à une situation nouvelle dans le but d'en tirer une économie sur le plan cognitif. Nous avons cru bon de faire un relevé systématique de la taxonomie de manière à distinguer les différentes conceptions. Ces précisions théoriques nous paraissent d'une richesse certaine pour l'avancement et le développement de travaux futurs portant sur le transfert. Par ailleurs, l'apport principal se situe certainement au niveau d'une systématisation. En effet, la figure 5.8 présente une esquisse opérationnelle didactique d'une démarche de RDP en situation potentielle de transfert et vient dès lors appuyer nos résultats.

5.5.2 Aspects méthodologiques

L’élaboration d’outils de recherche constitue en soi, un défi de taille. Les résultats recueillis auprès des sujets, tant à l’épreuve écrite qu’à l’entretien sont satisfaisants dans l’ensemble. Nous attribuons la richesse des instruments aux possibilités multiples qu’ils offrent. L’analyse des résultats selon les indicateurs, les concepts mathématiques ou les trois types de connaissances en sont des exemples.

Par ailleurs, les grilles utilisées dans l’analyse des résultats ont permis d’atteindre les objectifs visés, c’est-à-dire d’effectuer une correction qualitative des problèmes en tentant de repérer des indices de liens identifiés et favorables au transfert.

5.6 Prospectives de recherche

L’apprentissage des mathématiques et des sciences, doit aller au-delà des bonnes réponses, au-delà des règles et des formules qui y conduisent, au-delà des problèmes stéréotypés susceptibles de revenir aux épreuves d’examen (Samson, 2002b). La réflexion et les stratégies d’apprentissage méritent d’être améliorées afin de rendre l’élève plus autonome et plus efficace en matière de résolution de problèmes et de transfert.

Si l'apprentissage se définit selon quatre axes : affectif, cognitif, métacognitif et social, les futures recherches sur le transfert pourraient inclure des composantes tout aussi importantes que celles de la motivation, de l'intérêt et de la métacognition.

5.6.1 La motivation

La motivation des élèves est reconnue comme une composante essentielle à la réussite de leurs études (Gagnon, Lacroix, Lasnier, Lessard et Thivierge, 1993). En ce qui concerne la résolution de problèmes, Prawat (1989) avance même que les dispositions et la motivation des élèves sont aussi nécessaires à la solution d'un problème qu'une bonne organisation des connaissances et une stratégie de résolution appropriée (Cantin, Lacasse et Roy, 1996). Noe (1986, p. 5, cité dans Foxon, 1993) poursuit en affirmant que la motivation au transfert *is the intention of the learner to use the skills on the job, and is influenced by learners confidence in their ability to use the new skills, by their perception of the relevance of the training to their work by their ability to identify work situations where using the new skills would be appropriate, and because they believe that use of the new skills will improve their job performance.* Pour qu'il y ait transfert, l'élève doit être bien disposé c'est-à-dire intéressé et motivé. L'apprentissage par la découverte peut servir de point de départ à cette motivation, par exemple.

La recherche indique par ailleurs, que le transfert et la motivation s'influencent mutuellement en créant un environnement optimal d'apprentissage. Si l'apprenant perçoit *what he is learning to be relevant and transferable to other situations, he will find learning meaningful and his motivation to acquire the skill or knowledge will increase. Similarly, for transfer to take place, the learner must be motivated to do two things. First, he must be able to recognize opportunities for transfer*

(Prawat 1989); second, he needs to possess the motivation to take advantage of these opportunities (Pea, 1987, dans McKeough, Lupart et Marini, 1995, p. 3).

5.6.2 L'intérêt

L'importance qu'un individu accorde à l'école, à ses études ou pour une discipline scolaire pourrait constituer une autre dimension importante dans une recherche future sur le transfert. L'intérêt pour les disciplines enseignées affecte l'intensité et la pérennité de l'engagement à l'égard de l'apprentissage ainsi que la profondeur des acquis. Cet effet est dans une grande mesure indépendant de la motivation générale des élèves pour l'apprentissage. Ainsi « un élève qui s'intéresse aux mathématiques et qui, de ce fait, tend à étudier avec zèle peut afficher ou non un degré élevé de motivation à l'égard de l'apprentissage, et inversement » (OCDE, 2001, p. 108).

5.6.3 La métacognition

Le milieu de l'éducation actuel s'intéresse beaucoup au concept de métacognition, qui ouvre des perspectives encourageantes pour le transfert des apprentissages et des compétences (Doly, 2002 ; Morissette, 2002). Assister les élèves dans la prise de conscience des situations et des contextes où ils transfèrent leurs connaissances, ainsi que dans l'anticipation des situations et des contextes où leurs connaissances peuvent être transférées (Picard et Ouellet, 1996) pourrait aider à pallier aux problématiques liées aux modestes connaissances conditionnelles qui se dégagent de nos résultats. Il resterait à trouver des outils pertinents pouvant évaluer les apports de pratiques métacognitives au transfert de connaissances.

Anne-Marie Doly (1997) et d'autres chercheurs sont unanimes : l'inefficacité des efforts des élèves en échec est à mettre au compte d'une déficience de type métacognitif bien plus que cognitif (Morissette, 2002). Les élèves n'ont pas ou peu l'habitude de se questionner comment, quand et pourquoi transférer? Selon Barth (1996, p. 30), pour « qu'un savoir appris soit transférable, il faut que l'apprenant comprenne son utilité où il l'apprend et qu'il prenne conscience des contextes dans lesquels il peut s'en servir ». La métacognition a pour but d'élargir le champ de conscience de l'apprenant et donc sa capacité à faire des liens et à réutiliser ce qu'il sait dans des contextes différents.

Parmi les prospectives de recherche proposées, certaines constituent des prolongements possibles de notre recherche. D'autres, par contre, sont plus générales et explorent des pistes de recherche reliées à l'apprentissage et à l'enseignement de stratégies favorisant le transfert. Dans le cas des propositions pour des recherches futures, les pistes de recherche sont orientées selon trois champs : l'apprentissage, l'enseignement et le curriculum.

5.6.4 L'apprentissage

L'élaboration d'outils qui permettraient d'identifier la qualité des apprentissages en fonction des stratégies enseignées constituerait une idée intéressante dans une recherche ultérieure. Par ailleurs, l'enseignement de stratégies d'apprentissage nécessite que l'enseignant possède une bonne connaissance des différentes composantes du programme de formation. Une telle recherche nécessiterait une période de temps relativement longue et des ressources assez considérables. Il serait alors pertinent d'évaluer et de classer les stratégies

d'apprentissage qui favorisent davantage l'activation et l'utilisation des connaissances procédurales et conditionnelles puisque nos résultats démontrent que celles-ci sont sous-exploitées.

5.6.5 L'enseignement

Pour éviter que l'apprenant se limite à des indices d'homologie peu pertinents, il importe, lors des opérations de recontextualisation de la connaissance ou de la compétence, d'imaginer des situations présentant des variations importantes quant aux indices de surface, de telle sorte que les apprenants s'habituent à rechercher les invariants structurels. Savoir reconnaître les indices qui comptent et les homologies fécondes est une démarche que l'on peut enseigner (Maingain *et al.*, 2002). Dans une recherche future, les sujets pourraient être amenés à identifier les indices leur permettant de classifier un problème ou d'utiliser une stratégie plutôt qu'une autre.

Pour faciliter le transfert des connaissances, l'activité de résolution de problèmes en situation d'apprentissage doit donc faire appel à la fois aux étapes menant à la résolution des problèmes, et aux connaissances relatives au problème. Certaines approches pédagogiques dont celle de l'apprentissage par problèmes (APP) pourraient créer de telles situations d'apprentissage.

L'enseignement de stratégies cognitives et métacognitives seraient également une avenue intéressante à explorer dans le cadre d'une recherche visant à mieux comprendre le processus du transfert. Ces résultats viendraient confirmer ou infirmer nos résultats à savoir si l'école actuelle valorise principalement les connaissances déclaratives au profit des autres connaissances.

Les propositions que nous venons de faire quant à l'étude de l'apprentissage et de l'enseignement viendraient s'insérer dans une perspective plus globale de la compréhension du transfert. Dans une « communauté de transféreurs », les enseignants et les élèves sont des partenaires d'une « culture du transfert » spécifiquement au niveau des abstractions du contenu et leur organisation comme des schémas de transfert contenant des principes, des stratégies et des relations (Kaniel, 2001, p. 282).

5.6.6 Le curriculum

Dans le nouveau programme de formation de l'école québécoise l'élève du premier cycle du secondaire « sera amené à faire des liens intradisciplinaires et interdisciplinaires et à effectuer des transferts en manipulant des expressions algébriques dans des situations telles que la résolution d'une proportion, le calcul de périmètre ou d'aires ou encore l'utilisation de formules dans un tableau » (MEQ, 2003, p. 32). Ainsi, nous croyons que la réussite du transfert peut être améliorée dans un programme intégré. Cette approche aiderait les élèves à voir les ponts communs entre les divers sujets et renforcerait la compréhension et la pertinence, pour des applications futures (Sousa, 2002).

Une recherche curriculaire axée sur le transfert verrait nécessaire de mesurer les effets d'une approche plus systémique. L'intérêt serait d'évaluer l'impact des domaines d'apprentissage plus spécifiquement celui des mathématiques, des sciences et de la technologie sur les activités de transfert intra et interdisciplinaire.

Car, parler de domaine d'apprentissage, c'est se situer au cœur même du processus d'enseignement-apprentissage et d'une didactique de l'intégration des savoirs pour en favoriser le transfert. C'est aussi en montrer la nécessité et l'importance pour tout système scolaire appelé à favoriser chez les élèves l'acquisition d'apprentissages signifiants. En règle générale, le propre de la pratique éducative est, d'une part, de permettre aux apprentissages d'avoir lieu et, d'autre part, de faire en sorte que le potentiel acquis à travers ces apprentissages se déploie dans des matières connexes, dans d'autres ordres d'enseignement, ou encore dans la communauté environnante. Cependant, comme le mentionnent Abbott (1995), Holmes (1992) ou encore Obanya (1989), l'enseignement dispensé dans les écoles transmet bien souvent des connaissances livresques (déclaratives), le plus fréquemment sans rapport avec la réalité environnante. Le peu de connaissances que les élèves intègrent à l'école tend à les détourner de leur milieu de vie au lieu de les y retenir. Cette absence de référence au monde de l'élève dans l'enseignement confère à l'école un caractère marginal, c'est-à-dire en dehors de la réalité socioculturelle.

RÉFÉRENCES

- ABBOTT**, J. 1995. Connecting with the Community, *Educational Leadership*, 52 (9), 6-10.
- ALLARD**, F. et J. L. Starkes 1980. Perception in Sport: Volleyball. *Canadian Journal of Sport Psychology*, 2, 22-33.
- ALTET**, Marguerite. 1997. *Les pédagogies de l'apprentissage*, Paris, PUF, 128 p.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE** (AAAS)-Project 2061. 1989. *Science For All American*, New York, Oxford University Press, 272 p.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE** (AAAS)-Project 2061. 1993. *Benchmarks for Science Literacy*, New York, Oxford University Press, 418 p.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE** (AAAS)-Project 2061. 1993. *Designs for Science Literacy*, New York, Oxford University Press, 300 p.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE** (AAAS)-Project 2061. 1998. *Blueprints for Reform*, New York Oxford University Press, 300 p.
- ANDERSON**, J. R. 1983. *The Architecture of Cognition*, Cambridge MA, Harward University Press, 345 p.
- ANGERS**, M. 1996. *Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines*, (2^e éd.). Anjou, Éditions CEC, 381 p.
- ARÉNILLA**, L., B. Gossot, M-C. Rolland et M-P. Roussel. 1996. *Dictionnaire de pédagogie*, Paris, Bordas, 288 p.
- ARMAND**, F. 1998. Lecture de textes courants et acquisition de connaissances, *Québec français*, 108, 32-35.
- ARMAND**, F. et H. ZIARKO. 1995. La compréhension des textes, un processus interactif? *Revue de l'ACLA*, 17 (2), 85-105.

- ASTOLFI, J-P.** 1993. Placer les élèves en situation-problème? *PROBIO, 16* (4).
- ASTOLFI, J-P.** 1997. L'erreur, un outil pour enseigner, Paris, ESF éditeur. 117 p.
- ASTOLFI, J-P. et S. Laurent.** 1992. Le transfert, enjeu des apprentissages, *Cahiers pédagogiques, 304-305*, Mai-Juin, 78-83.
- AUBÉ, M.** 1995. Que se cache-t-il derrière les mathématiques, *Bulletin de L'AMQ, 35*, 4-7.
- AUBIN, M., R. Horth, J-Y. Lévesque et L. Tousignant.** 1996. « L'approche de la gestion mentale et le développement de la conscience de l'écrit au préscolaire », dans *Actes du colloque de gestion mentale*, Paris, Éditions Nathan, p. 37-44.
- AUDIBERT, G.** 1992. « Contribution de l'apprentissage de la géométrie à la formation scientifique », dans D. F. Robitaille, D. H. Wheeler et C. Kieran (Dir.). *Choix de conférences du 7^e Congrès international sur l'enseignement des mathématiques*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, 370 p.
- AUSUBEL, D. P.** 1963. *The Psychology of Meaningful Verbal Learning: an Introduction to School Learning*, New York, Grune and Stratton, 255 p.
- AUSUBEL, D. P.** 1967. « A Cognitive Structure Theory of School Learning ». dans L. Siegel (Ed.) *Instruction: Some Contemporary Viewpoints*, San Francisco, Chandler, p. 205-257.
- AUSUBEL, D. P.** 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 713 p.
- AUSUBEL, D. P.** 1970. *Theory and Problems of Child development*, (2^e edition), New York, Grune and Stratton, 849 p.
- AUSUBEL, D. P. et F. G. Robinson** 1969. *School Learning : an introduction to educational psychology*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 691 p.
- BALDWIN, T. et J. Ford,** 1988. Transfer of training. A review and directions for future research, *Personnel psychology, 41* (1), 63-105.
- BARBEAU, D., A. Montini et C. Roy,** 1997. *Tracer les chemins de la connaissance*, Montréal, Association québécoise de pédagogie collégiale, 535 p.

- BARDIN**, L. 1989. *L'analyse de contenu*, (5^e éd.), Paris, Presses Universitaires de France, 291 p.
- BARTH**, B.-M. 1993. *Le savoir en construction. Former à une pédagogie de la compréhension*, Paris, Retz, 208 p.
- BARTH**, B.-M. 1996. *Construire son savoir*, Actes du Symposium REF. Bruxelles, De Boeck éditeur, 15-19.
- BASSOK**, M. et K. J. Holyoak. 1989. Interdomain Transfer Between Isomorphic Topics in Algebra and Physics, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 153-166.
- BASTIEN**, C. 1987. *Schèmes et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*, Paris Presses Universitaires de France, 200 p.
- BASTIEN**, C. 1997. *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*. Paris, Armand Colin/Masson éditeur, 171 p.
- BASTIEN-TONIAZZO**, M., A. Blaye et D. Cayol. 1997. Résolution de problème par analogie par des enfants de grande section de maternelle, *L'année psychologique*, 97, 409-432.
- BERNARDO**, A. B. I. 1998. Language Format and analogical Transfer among Bilingual Problem Solvers in the Philippines, *International Union of Psychological Science*, 33 (1), 33-44.
- BOULET**, A., L. Savoie-Zajc et J. Chevrier, 1996. *Les stratégies d'apprentissage à l'université*, Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, 201 p.
- BOUTIN**, G. 1997. *L'entretien de recherche qualitatif*, Sainte-Foy, Les Presses de l'Université du Québec, 169 p.
- BRACKE**, D. 1998. Vers un modèle théorique du transfert: les contraintes à respecter, *Revue des sciences de l'éducation*, XXIV (2), 235-266.
- BRANSFORD**, J. D., R. Sherwood, N. Vye et J. Rieser. 1986. Teaching Thinking and Problem Solving. Research Foundations, *American Psychologist*, 41 (10), 1078-1089.

- BRANSFORD**, J. D., N. Vye, C. Kinzer et V. Risko. 1990. « Teaching Thinking and Content Knowledge: Toward an Integrated Approach », dans B.F. Jones et L. Idol (Eds.), *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 555p.
- BRANSFORD**, J. D. et D. L. Schwartz. 1999. Rethinking transfer: A simple proposal with multiple implications, *Review in Education*, 24, 61-100.
- BRIEN**, R. 1994. *Science cognitive et formation*, (2^e éd.) Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, 212 p.
- BRITTON**, E. D. 1997. « Sciences, technologie et société. L'enseignement des sciences aux Etats-Unis », dans E. James et J. Le Coq, (Coord.), *Revue internationale d'éducation*, 14, p.61-66.
- BROAD** M. L. et J. H. Newstrom. 1992. *Transfer of Training : action-packed strategies to ensure high payoff from training investments*, Don Mills, Reading Mass, 194 p.
- BROAD**, M. 1997. *Transferring learning to the workplace*. Alexandria, VA: American Society for Training and Development.
- BROOKS**, L. W. et D. F. Dansereau, 1988. Effects of structured schema training and text organization in expository prose processing, *Journal of Educational Psychology*, 75, 811-820.
- BROUILLETTE**, N. 2002. *Bonification, validation et expérimentation d'un modèle d'intervention en faveur du transfert des apprentissages auprès d'élèves à faible rendement scolaire en biologie*, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, 237 p.
- BUSQUE**, L. et R. Lacasse. 1998. Démarche de formation à l'intégration des mathématiques, des sciences et de la technologie dans la formation initiale des maîtres en Ontario, *Revue des sciences de l'éducation*, XXIV(1), 165-188.
- BUSSMANN**, E. 1946. *Le transfert dans l'intelligence pratique chez les enfants*, Neuchatel, Delachaux et Niestlé S.A., 160 p.
- BUTTERFIELD**, E.C. et G.D. Nelson. 1989. Theory and Practice of Teaching for Transfer, *Educational Technology Research and Development*, 37 (3), 5-38.

- BUTTERFIELD**, E. C. et G. D. Nelson. 1991. Promoting Positive Transfer of Different Types, *Cognition and Instruction*, 8 (1), 69-102.
- BUTTERFIELD**, E. C., T. A. Slocum et G. D. Nelson. 1993. « Cognitive and behavioral analyses of teaching and transfer: Are they different ? » dans D. K. Detterman et R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence Cognition and Instruction*, Norwood, Ablex, p. 192-257.
- BYBEE**, R. W. et G. E. DeBoer. 1994. « Research on Goals for the Science Curriculum ». dans D. L. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, MacWilliam Publishing Company, p. 357-387.
- CAMPBELL**, D. T. 1988. *Methodology and Epistemology for Social Science: selected paper*, Chicago, University of Chicago Press, 609 p.
- CANTIN**, R., D. Lacasse et L. Roy. 1996. *Intégration d'approches par problèmes en sciences de la nature: phase I*. Rimouski, Cégep de Rimouski, 202 p.
- CARRAHER**, T. N., D. W. Carraher et A. D. Schliemann. 1985. Cognitive representation systems for Mathematical problem solving, *Journal of Research in Mathematics Education*, 16 (1), 32-50.
- CARRAHER**, T. N., D. W. Carraher et A. D. Schliemann. 1987. Written and Oral Mathematics, *Journal of Research in Mathematics Education*, 18 (2), 83-97.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE**, C. 1991. Apprendre à utiliser ses connaissances pour la RDP: analogie et transfert, *Bulletin de psychologie*, Tome XLIV, 399, 156-164.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE**, C. et A. Weil-Barais. 1989. Quelques causes possibles d'échec en mathématiques et en sciences physiques. *Psychologie française*, 34 (4), 277-283.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE**, C., J. Mathieu, et A. Weil-Barais. 1985. Raisonnement analogique et résolution de problèmes, *L'Année psychologique*, 85, 49-72.
- CÈBE**, S. 2001. Bulletin du Centre Alain Savary, 11, 3-6.

- CÈBE**, S. 2002. *Apprends-moi à comprendre tout seul. Le rôle de l'auto-régulation (et son enseignement) dans la réussite scolaire des jeunes élèves de milieux populaires*, Conférence d'ouverture (et texte) présentée(s) dans le cadre de la conférence régionale de l'Association internationale pour l'éducation cognitive. Université du Québec à Montréal (3 au 5 mai), 21 p.
- CHARETTE**, M. et M. Monette. 1991. « Un exemple de protocole de formation continue visant l'optimisation du transfert isomorphique ». dans M. Ferland (Dir.) *Actes de l'Association internationale de pédagogie universitaire (AIPU)* Québec, Université Laval, p. 115-121.
- CHASE**, W. G. et H. A. Simon, 1973. « The mind's eye in chess », dans W. Chase (Ed.), *Visual information processing*, New York, Academic Press, p. 215-281.
- CHASTRETTÉ**, M. 1989. « Recherche didactique et enseignement de la chimie: quelques exemples de transfert ». dans J-M. Dusseau (Éd.) *Transfert des connaissances en sciences et techniques*, Université de Montpellier II, p.19-28.
- CHATELANAT**, G. et C. Haywood. 1995. « Bright Start ou programme d'éducation cognitive pour jeunes enfants », dans F.-P. Büchel. (Dir.) *Texte de base en pédagogie. L'éducation cognitive. Le développement de la capacité d'apprentissage et son évaluation*, Genève, Delachaux et Niestlé, p. 241-265.
- CHI**, M. T. H., P. J. Feltovich et R. Glaser. 1981. Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices, *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- CHI**, M. T. H., R. Glaser et E. Rees. 1982. « Expertise in Problem Solving », dans R. J. Sternberg (dir.) *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, p. 161-183.
- CHI**, M. T. H., R. Glaser et M.J. Farr. 1988. *The Nature of Expertise*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 434 p.
- CHIAPPETTA** E. L. et J. W. McBride, 1980. Exploring the Effect of General Remediation on ninth-graders' Achievement of the Mole Concept, *Science Education*, 64 (5), 609-614.
- CLICHE**, L., J. Lamarche, I. Lizotte et G. Tremblay. 1997. *Démarche d'intégration des acquis en sciences humaines*, Saint-Laurent, Editions du Renouveau Pédagogique, 306 p.

- CONFREY, J.** 1994. « Splitting, Similarity, and Rate of Change : A New Approach to Multiplication and Exponential Functions ». dans G. Harel et J. Confrey (Eds.), *The Development of Multiplicative Reasoning in the learning of Mathematics*, Albany, State University of New York Press, p. 291-330.
- CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE.** 1994. *Miser sur le savoir*, Rapport de conjoncture, (Tome 1), La culture scientifique et la technologie, Québec, 99 p.
- CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE.** 1998. *Pour une politique québécoise de l'innovation*, Rapport de conjoncture, Sainte-Foy, 75 p.
- CONSEIL SUPERIEUR DE L'EDUCATION.** Gouvernement du Québec. 1990. *L'initiation aux sciences de la nature chez les enfants du primaire*, Avis au ministre de l'enseignement supérieur et de la science, Sainte-Foy, 81 p.
- CONSEIL SUPERIEUR DE L'EDUCATION.** Gouvernement du Québec. 1991. *L'intégration des savoirs au secondaire: au cœur de la réussite éducative*, Avis au ministre de l'éducation et à la ministre de la science, Sainte-Foy, 57 p.
- CONSEIL SUPERIEUR DE L'EDUCATION.** Gouvernement du Québec. 1998. *Pour un renouvellement des programmes à l'école*, Avis au ministre de l'éducation et à la ministre de l'éducation, Sainte-Foy, 57 p.
- CONSEIL SUPERIEUR DE L'EDUCATION.** Gouvernement du Québec. 2003. *L'appropriation locale de la réforme : un défi à la mesure de l'école secondaire*, Avis au ministre de l'Éducation, Sainte-Foy, 80 p.
- CORMIER S. M.** 1984. *Basic Processes of Learning, Cognition and Motivation*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 462 p.
- CORMIER S. M. et J. D. Hagman.** 1987. *Transfer of Learning. Contemporary Research and Applications*, Toronto, Academic Press inc, 281 p.
- DAGENAIS, S.** 1991. *Sciences humaines et méthodologie. Initiation à la recherche*. Laval, Éditions Beauchemin ltée, 163 p.
- DANVERS, F.** 1994. *700 mots-clefs pour l'éducation*, Paris, Presses Universitaires de Lille, 321 p.
- DE JONG T. et M.G. M Ferguson-Hessler.** 1996. Types and Qualities of Knowledge, *Educational Psychologist*, 31, 105-113.

- DENZIN N. K. et Y. S. Lincoln.** 1994. *Handbook of Qualitative Research*, Thousand Oaks, Sage Publication, 643 p.
- DERRY, S. J.** 1990. « Learning Strategies for Acquiring Useful Knowledge ». dans B. F. Jones et L. Idol., *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, p. 347-380.
- DÉSILETS, M. et J. Tardif.** 1995. « Un modèle pédagogique pour le développement des compétences ». dans J-P. Goulet (dir.), *Enseigner au collégial*, AQPC, p. 319-328.
- DÉSILETS, M.** 1997. Connaissances déclaratives et procédurales: des confusions à dissiper, *Revue des sciences de l'éducation*, XXIII (2), 289-308.
- DESLAURIERS, J-P. (dir.).** 1987. *Les méthodes de la recherche qualitative*, Les Sillery, Presses de l'Université du Québec, 153 p.
- DESLAURIERS, J-P.** 1991. *Recherche qualitative, guide pratique*, Montréal, Mc Graw-Hill, 142 p.
- DEVELAY, M.** 1992. *De l'apprentissage à l'enseignement. Pour une épistémologie scolaire*, Paris, ESF éditeur, 163 p.
- D'HAINAUT, L.** 1991. De la discipline à la formation de l'individu, *Cahiers pédagogiques*, 298, 19-24.
- DIERKS, W.** 1981. Stoichiometric Calculations: Known Problems and Proposed solutions at a Chemistry-mathematics Interface, *Studies in Science Education*, 8, 93-105.
- DOLY, A-M.** 1997. « Métacognition et médiation à l'école ». dans M. Grangeat (coord.) et P. Meirieu (dir.). *La métacognition, une aide au travail des élèves*, Paris, ESF éditeur, p.17-58.
- DOLY, A-M.** 2002. *Métacognition et transfert des apprentissages à l'école*. (Dossier de novembre: Savoir c'est pouvoir transférer) [En ligne] (408) www.cahiers-pedagogiques.com/complementaires/doly.html (consulté en janvier 2003)
- DUFRESNE, R. J., W. J. Leonard et W. J. Gerace.** 1995. *A qualitative model for the storage of domain-specific knowledge and its implications for problem-solving*. Umass Physics Education Research Group, 5 p.

- DUMAS-CARRÉ**, A., M. Goffard et D. Gil. 1992. Difficultés des élèves aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes, *Aster*, 14, 53-75.
- DUMAS-CARRE**, A. et L. Gomatos. 2001. Mise au point d'un instrument d'analyse de l'évolution des représentations du problème pendant la résolution de problèmes mécanique en groupe, *Didaskalia*, 18, 11-40.
- DURAND-PRIMBORGNE**, C. 1992. Davantage qu'un transfert de compétences, *Cahiers pédagogiques*, 304-305, 44-46.
- DUNCKER**, K. 1945. On Problem Solving. *Psychological Monographs*, 58, 270 p.
- ELLIS**, H. C 1965. *The Transfer of Learning*, New York, Macmillan, 200 p.
- EHRLICH**, M-F., H. Tardieu et M. Cavazza, 1993. *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*, Paris, Masson, 183 p.
- FALCY**, J-P. (Coord.) 1997. *La problématique d'une discipline à l'autre*. Paris, Adapt Editions, 179 p.
- FEURSTEIN**, R. Y. R. M. Hoffman et R. Miller. 1980. *Instrumental Enrichment: an intervention program for cognitive modifiability*, University Park Press, Baltimore, 436 p.
- FILLON**, P. 1992. Le raisonnement scientifique: des pratiques de référence au savoir construit par les élèves, *Aster*, 14, 3-8.
- FILLOUX**, J. 1989. Sur le concept de transfert dans le champ pédagogique, *Revue Française de pédagogie*, 87, 59-75.
- FOGARTY**, R., et J. Bellanca. 1987. *Patterns for thinking: Patterns for transfer*. Palatine, IL: Skylight Publishing inc. 312 p.
- FOGARTY**, R., D. Perkins et J. Barell 1992. *The Mindful School : How to Teach for Transfer*, IRI/SkyLight Arlington Heights, Training and Publishing Inc, 125 p.
- FONTAINE**, L. 1998. Emplois et sciences: l'arrimage manqué ? *Interface*, 19 (3), 38-44.
- FORCIER** P. et J-P. Goulet, 1996. Un problème et un mystère: le transfert des apprentissages, *Pédagogie collégiale*, 10 (2), 30-32.

- FORGET**, J., R. Otis et A. Leduc. 1988. *Psychologie de l'apprentissage: théories et applications*, Brossard, Éditions Behaviora inc, 385 p.
- FOXON**, M. 1993. A process approach to the transfer of training, *Australian Journal of Educational Technology*, 9 (2), 130-143.
- FRENAY**, M. 1996. « Le transfert des apprentissages ». dans E. Bourgeois (Dir.) *L'adulte en formation. Regards pluriels*, Bruxelles, De Boeck et Larcier S.A. p. 37-56.
- FUSTIER**, M. 1992. *La résolution de problèmes: méthodologie de l'action*, 5e édition, Paris, ESF éditeur, 165 p.
- GABEL**, D. L et D. M. Bunce. 1994. « Research on Problem Solving: Chemistry ». dans D. L. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Toronto, MacWilliam Publishing Company, p. 301-326.
- GAGNÉ**, R. M. 1976. *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, Montréal, Les éditions HRW, 148 p.
- GAGNÉ**, R. M. 1985. *The conditions of learning and Theory of instruction* (4e édition), New York, Holt, Rinehart and Winston, 361 p.
- GAGNÉ**, E., C. W. Yekovich et E. R. Yekovich. 1993. *The Cognitive Psychology of School Learning*, 2nd ed., Boston, Little, Brown and Company, 513 p.
- GAGNON**, C., R. Lacroix, F. Lasnier, M. A. Lessard et A. Thivierge. 1993. *Résultats plus. Instrument de diagnostic des difficultés d'apprentissages*. Thetford Mines, Collège de la région de l'Amiante, 121 p.
- GARNIER**, C. 2000. *Systèmes de représentations sociales du secondaire, de leurs parents et de leurs enseignants en science et technologie*, Rapport synthèse de recherche, CIRADE-Université du Québec à Montréal, 194 p.
- GARNIER**, F. 1999. L'intégration des apprentissages en sciences de la nature au collégial, *Spectre*, Avril-Mai, 26-28.
- GARDNER**, H. 1997. *Les formes de l'intelligence*, (Traduction française de *Frame of mind*), Paris, Éditions Odile Jacob, 476 p.
- GAUDREAU**, L. 2001. *Évaluer pour évoluer. Les indicateurs et les critères*, Outremont, Les éditions Logiques, 71 p.

- GENTHON**, M. 1982. *Évaluation formative et formation des élèves. Effets de transfert des processus mis en œuvre*, Thèse de doctorat, Université de Provence, 293 p.
- GENTNER**, D. 1988. Metaphor as structure mapping : the relational shift, *Child Development*, 59, 47-59.
- GENTNER**, D., M. J. Rattermann et K. D. Forbus. 1993. The roles of similarity in transfer : separating retrievability and inferential soundness, *Cognitive Psychology*, 25, 524-575.
- GHIGLIONE**, R. et J-F. Richard. 1995. *Cours de psychologie, Processus et applications*, Paris, Dunod, 783 p.
- GICK**, M. L. et K. J. Holyoak. 1983. Schema induction and analogical transfer, *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- GICK**, M. L. et K. J. Holyoak. 1987. « The Cognitive Basis Knowledge Transfer ». dans S.M. Cormier et J. D. Hagman (Éds). *Transfer of Learning, Contemporary Research and Applications*, San Diego, Academic Press, p. 9-46.
- GIRARD**, I. 1994. *Étude du transfert de l'apprentissage manifesté au travail par des changements d'attitude et de comportement tels que perçus par les participants à la suite d'un programme de formation sur mesure en gestion*, Essai de maîtrise en administration, Université Laval, Québec, 170 p.
- GIORDAN**, A. 1998. *Apprendre*, Paris, Éditions Belin, 254 p.
- GLASER**, R. 1984. Education and Thinking: The Role of Knowledge, *American Psychologist*, 39, 93-104.
- GLASER**, R. 1992. *Advances in instructional psychology*, Hillsdale, New Jersey, LEA, 322 p.
- GOLDMAN**, B. D. 1974. The effects of an Experimental Mathematics Curriculum Stressing Problem-Solving Skills in Science on Student Achievement in Chemistry. (Boston University School of Education), *Dissertation Abstracts International*, 35, 75-89.
- GRAWITZ**, M. 1996. *Méthodes des sciences sociales*, (10 éd.), Paris, Dalloz, 920 p.

- GRÉGOIRE**, R. 1996. L'utilisation du latin pour l'apprentissage du français au primaire, *Vie pédagogique*, 97, p.13
- GRISÉ**, S. et D. Trottier. 1997. *L'enseignement des attitudes: guide de formation pour les programmes développés selon l'approche par compétences*, Rimouski, Regroupement des collèges-Performa, 143 p.
- GUAY**, J. H. 1991. *Sciences humaines et méthodes quantitatives*, Laval, Éditions Beauchemin, 412 p.
- HABERLANDT**, K. 1997. *Cognitive Psychology*, (2^e Ed.) Boston, Allyn and Bacon, 466 p.
- HALFORD**, G. S. 1993. *Children's Understanding. The Development of Mental Models*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 521 p.
- HARVEY**, L. et J. R. Anderson. 1993. « Transfert de la connaissance déclarative et expertise dans des tâches complexes de traitement de l'information ». dans L. Harvey, M. Lavoie, A. Bétan et P. Côté (Edt). *Cognition et Expertise*. Acte du Colloque. ACFAS, 18 mai 1993. Université du Québec à Rimouski. 145 p.
- HASKELL**, R. E. 2001. *Transfer of Learning. Cognition, Instruction and Reasoning*, San Diego, Academic Press, 241 p.
- HAYWOOD**, C. H., P. Brooks et M.S. Burns. 1992. *Bright Start: Cognitive Curriculum for Young Children*, Watertown, Charlesbridge Publishing.
- HOLMES**, W. S. 1992. *Integrating Academic and Vocational education : A Review of literature. First in a Series*. Tallahassee, Florida Education Center, Division of Vocational, Adult and Community education.
- HOLYOAK**, K. J. 1985. « The Pragmatics of Analogical Transfer ». dans G.H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, New York, Academic Press, 59-87.
- HOLYOAK**, K. J. 1990. « Problem Solving ». dans D. Osherson et E. E. Smith (Eds.), *Thinking. An Invitation Cognitive Science*, 3, Cambridge, MIT Press.
- HOLYOAK**, K. J. et K. Koh. 1987. Surface and structural similarity in analogical transfer, *Memory and Cognition*, 15, 332-340.

- HOLYOAK**, K. J. et P. R. Thagard. 1989. « A computational model of analogical problem solving », dans S. Vosniadou et A. Ortony (Eds.) *Similarity and analogical reasoning*, Cambridge MA, Cambridge University Press, 592 p.
- HOUDE**, M. et C. Dumas. 1992. Maîtrise des schèmes opératoires chez les adolescents avec et sans difficultés d'apprentissage, *Revue canadienne de l'éducation*, 17(1), 12-22.
- HURLEY**, M. M. 2001. Reviewing Integrated Science and Mathematics: The Search for Evidence and Definitions From New Perspectives, *School Science and Mathematics*, 101 (5), 259-268.
- HUSSON-CHARLET**, J-C. 1989. « Problèmes rencontrés dans le transfert de connaissances en dessin technique ». dans Actes du Colloque International sur *Le transfert des connaissances en sciences et techniques*, Montpellier, Athena. p. 131-137.
- HUTEAU** M., J. Lautrey, D. Chartier et E. Loarer, 1994. « Apprendre à apprendre ». dans G. Vergnaud et D. Chartier (Coord.) *Apprentissage et didactique, où en est-on ?* Paris, Hachette, - .
- IDOL**, L, B. Fly Jones et Mayer. 1991. « Classroom Instruction: The Teaching of Thinking », dans B.F Jones et L. Idol (dir.), *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 470 p.
- JACCARD**, J. J-C. Husson-Charlet et J-J. Rossi. 1995. « Les savoirs en technologie entre sciences et pratiques: quel transfert possible ? » dans A. Giordan, J-L. Martinand et D. Raichvarg, (Éds), *Actes des JIES*, XVII, p. 169-175.
- JACQUINOT**, G. 1984. Langages, apprentissage et théorie de la représentation, *Communication information*, VI (2-3), 223-243.
- JAMES** E. et J. Le Coq. 1997. Dossier: L'éducation scientifique. *Revue internationale d'éducation*, 14, 142 p.
- JOHSUA**, S. et J-J. Dupin. 1993. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France, 422 p.
- JONES**, B. Fly et L. Idol. 1990. *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 555 p.

- JONNAERT, P.** 2002a. *Compétences et socioconstructivisme. De nouvelles références pour les programmes d'études*. Texte de conférence présenté aux journées nationales du MEQ au printemps, 35 pages.
- JONNAERT, P.** 2002b. *Compétences et socioconstructivisme, Un cadre théorique*. Bruxelle, De Boeck Université, 97 p.
- JONNAERT, P.** 2002c. « Un notion tenace ». dans J-F. Tressol (Coord.) *Cahiers pédagogiques*, 408, 11-12.
- JONNAERT, P.** et C. Vander Borght 1999. *Créer des conditions d'apprentissages. Un cadre de référence socioconstructiviste pour une formation didactique des enseignants*, Bruxelles, De Boeck Université, 431 p.
- JULO, J.** 1995. *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques. Un apport de la psychologie cognitive à l'enseignement*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 255 p.
- KAHLE, J. B.** et J. Meece. 1994. « Research on Gender Issues in the Classroom ». dans D. L. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Toronto, MacWilliam Publishing Company, p. 542-557.
- KANIEL, S.** 2001. Teaching for Transfer from the Learner's Point of View. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 1, (3), 266-293, [En ligne] <http://www.iace.coged.orgm> (consulté en juin 2002).
- KAYLER, H.** 2000. « À quoi ça sert ? La place des mathématiques ». dans R. Pallascio et G. Labelle (Dir.), *Mathématiques d'hier et d'aujourd'hui*, Montréal, Modulo, p. 97-100.
- KLAUSMEIER, H. J.** 1990. « Conceptualizing ». dans B.F. Jones et L. Idol. (Dir.) *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, p. 93-137.
- LABORDE, C.** et G. Vergnaud. 1994. *L'apprentissage et l'enseignement des mathématiques*, Paris, Hachette, 124 p.
- LACASSE, J.** 1991. *Introduction à la méthodologie utilisée en sciences humaines*. Montréal, Études vivantes, 297 p.
- LACOUR, L., J. Provost et A. Saumier.** 1995. *Méthodologie de la recherche en sciences humaines. Une initiation par la pratique*, Fascicule sur l'analyse de contenu, Montréal, Éditions du Renouveau Pédagogique Inc, 30 p.

- LAENG, M. 1974. *Vocabulaire de pédagogie moderne*. Édition française sous la direction de G. Avanzini, Paris, Le Centurion, 251 p.
- LAFORTUNE, L. 1992. *Dimension affective en mathématiques : recherche-action et matériel didactique*, Mont-Royal, Modulo, 170 p.
- LAFORTUNE, L., R. Pallascio et P. Mongeau. 2000. « Une mesure des croyances et préjugés à l'égard des mathématiques » dans R. Pallascio et L. Lafourture. *Pour une pensée réflexive en éducation*, Sainte-Foy, Les Presses de l'Université du Québec, p. 209-232.
- LAFRENIÈRE, J. 1999. *Étude de la perception des intervenants en formation chez SÉCAL, relativement au transfert des compétences chez les travailleurs*, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 125 pages + annexes.
- LALIBERTÉ, J. 1995a. « Comment faciliter le transfert des apprentissages »? dans J-P. Goulet, *Enseigner au collégial*, AQPC, p. 299-304.
- LALIBERTÉ, J. 1995b. L'épreuve synthèse de programme: gage ou facteur de l'intégration des apprentissages ?, *Pédagogie collégiale*, 8 (3), 18-23.
- LAMOUREUX, A. 1995. *Recherche et méthodologie en sciences humaines*. Laval, Éditions Études Vivantes, 403 p.
- LANDRY, J. 1992. « L'analyse de contenu », dans B. Gauthier (dir.), *Recherche sociale : de la programmation à la recherche des données*, 2^e édition, Québec, Presses de l'Université du Québec, p. 337-359.
- LASNIER, F. 2000. *Réussir la formation par compétences*, Montréal, Guérin éditeur, 485 p.
- LAZEAR, D. G. 1994. *Multiple intelligence approaches to assessment: solving the assessment conundrum*, Tucson, Zephyr Press, 205 p
- LE BOTERF, G. 1998. *L'ingénierie des compétences*, Paris, Éditions D'Organisation, 413 p.
- LE BOTERF, G. 2001. *Construire les compétences individuelles et collectives*, (Deuxième édition revue et augmentée), Paris, Éditions d'Organisation, 218 p.

- L'ÉCUYER, R. 1987. « L'analyse de contenu : notion et étapes ». dans J-P. Deslauriers, (Dir.), *Les Méthodes de la recherche qualitative*, Sillery, Presses de l'Université du Québec, p.49-65.
- LEFRANÇOIS, P. 2001. Le point sur les transferts dans l'écriture en langue seconde, *La revue canadienne des langues vivantes*, 58 (2), 223-245.
- LEGENDRE R. 1993. *Dictionnaire actuel de l'éducation*, (2^e éd.), Montréal, Guérin Éditeur limitée, 1500 p.
- LEGENDRE-BERGERON, M-F. 1995. Principaux fondements du nouveau programme-guide pour l'enseignement au secondaire, *Vie pédagogique*, 95, 4-7.
- LEMIEUX, J. 1992. *Méthodes d'enseignement et instruments d'apprentissage favorisant le transfert de la pratique des techniques de relaxation : guide de l'enseignant*, Québec. 59 p.
- LEMOYNE, G. et F. Conne (Dir.). 1999. *Le cognitif en didactique des mathématiques*, Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal.
- LÉNA, P. 1997. « Entretien avec Pierre Léna. Dossier : L'éducation scientifique ». dans E. James et J. Le Coq (Édt) *Revue internationale d'éducation*, 14, p. 31-40.
- LENOIR, Y., B. Rey et I. Fazenda. 2001. (Éds.), *Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement*, Montréal, Les Éditions du CRP, 430 p.
- LESTER, F. Jr. 1994. Musings about mathematical problem-solving research: 1970-1994. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25 (6), 660-675.
- LINCOLN Y. S. et E.G. Guba 1981. *Effective Evaluation*, San Francisco, Jossey-Bass, 416 p.
- LINCOLN Y. S. et E.G. Guba 1985. *Naturalistic Inquiry*, Hillsdale, Beverly Hills C.A. 416 p.
- LOARER, E., D. Chartier, M. Huteau et J. Lautrey. 1995. *Peut-on éduquer l'intelligence ? L'évaluation d'une méthode d'évaluation cognitive*, Berne, Peter Lang, 215 p.

- MACE**, G. 1988. *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 119 p.
- MAGILL**, R.A.1980. *Motor Learning: Concepts and Applications*, Dubuque, WC Brown Co., 342 p.
- MAINGAIN**, A., B. Dufour et G. Fourez (dir.) 2002. *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*, Bruxelles, De Boeck Université, 283 p.
- MALAFOSSE**, D., A. Lerouge et J-M. Dusseau. 2001. Étude en inter didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : changement de cadre de rationalité, *Didaskalia*, 18, 61-98.
- MALCUIT**, G., A. Pomerleau et P. Maurice. 1995. *Psychologie de l'apprentissage. Termes et concepts*, Montréal, EDISEM, 243 p.
- MALONEY**, D. P. 1994. « Research on problem solving: physics », dans D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Toronto, MacWilliam Publishing Company, p.327-354.
- MARINI**, A. et R. Genereux. 1995. « The challenge of teaching for transfer ». dans A. McKeough, J. Lupart et A. Marini (Dir.) *Teaching for Transfer. Fostering generalization in learning*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, p. 1-20.
- MARKOW**, P. G. et R. A. Lonning. 1998. Usefulness of Concept Maps in College Chemistry Laboratories: Students' Perceptions and Effects on Achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (9), 1015-1029.
- MASON**, D. S., D. F. Shell et F. E. Crawley. 1997. Differences in Problems Solving by Nonsense Majors in Introductory Chemistry on Paired Algorithmic-Conceptual Problems, *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (9), 905-923.
- MATHEWS**, D. 1986. *The accreditation of the ability to transfer skills and knowledge to new situations*, The Further Education Staff College Bristol, Great Britain, 211 p.
- MAYER**, R. E. 1975. Different Problem-Solving Competencies Established in Learning Computer Programming without Meaningful Models, *Journal of Educational Psychology*, 67, 725-734.
- MAYER**, R. E. 1987. *Educational Psychology: A Cognitive Approach*, Boston, Little Brown Company,. 578 p.

- MAYER, R. E.** 1992. *Thinking, Problem Solving, Cognition*, (2^e éd.), New York, W.H. Freeman and Company, 560 p.
- McDERMOTT, J** et **J. H. Larkin**. 1978. « Re-presenting textbook physics problems », dans *Proceedings of the 2nd National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence*, Toronto, University of Toronto Press, 156-164.
- MCKEOUGH, A. J.** Lupart et A. Marini (dir.) 1995. *Teaching for Transfer. Fostering generalization in learning*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 238 p.
- MEIRIEU, P.** 1995. *Apprendre... oui, mais comment ?* (14^e éd.), Paris, ESF éditeur. 193 p.
- MENDELSOHN, P.** 1990. La notion de transfert d'apprentissage en psychologie cognitive, *Cahiers pédagogiques*, 281, 23-25.
- MENDELSOHN, P.** 1994. *Le transfert des connaissances*, Conférence à l'Université de Lyon II.
- MENDELSOHN, P.** 1996. « Le concept de transfert ». dans P. Meirieu *et al.* (Dir.), *Le transfert des connaissances en formation initiale et continue*. Lyon : Centre régional de documentation pédagogique, p. 11-19.
- MESTRE, J. P., R. J. Dufresne, W. Gerace et P. T. Hardiman** 1993. Promoting Skilled Problem-solving Behaviour Among Beginning Physics Students, *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 303-317.
- MIKULECHY, L., P. Albers et M. Peers.** 1994. *Literacy transfer*. University of Pennsylvania, National Center on Adult Literacy.
- MILES, M. B. et M. Huberman.** 1994. *Qualitative Data Analysis: a sourcebook of new methods*, (2^e éditions), Beverly Hills, Sage Publications, 338 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec. 1989, *Programme d'études en mathématique 314 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 74 p.

- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1990. *Programme d'études en sciences physiques 416-436 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 348 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1992a. *Programme d'études en physique 534 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 301 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1992b. *Programme d'études en chimie 534 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 351 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1993. *Faire avancer l'école. L'enseignement primaire et secondaire québécois : orientations, propositions, questions*, Québec, 39 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1994. *Préparer les jeunes au 21^e siècle. Rapport du groupe de travail sur les profils de formation au primaire et au secondaire* (Claude Corbo, Prés.), Québec, 45 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1995. *Programme d'études en mathématique 314 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 54 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1996a. *Programme d'études en mathématique 416 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 41 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1996b. *Programme d'études en mathématique 436 pour l'enseignement au secondaire*, Québec, 54 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1997. *Réaffirmer l'école: rapport sur la réforme du curriculum. Prendre le virage du succès*. Groupe de travail sur la réforme du curriculum, (P. Inchauspé, Prés.), Québec, 151 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
1999. *Programme de formation de l'école québécoise (version provisoire, en date du 7 juin)*, Éducation préscolaire et enseignement primaire, Québec, 343 p.

- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
 2001a. *Programme de formation de l'école québécoise. Éducation préscolaire, Enseignement primaire* (version approuvée), Québec, 350 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
 2001b. *Troisième enquête internationale sur la mathématiques et les sciences-TEIMS-99*, Québec, 23 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC.** Gouvernement du Québec.
 2003. *Programme de formation de l'école québécoise. 1^{er} cycle du secondaire*, Québec, 345 p.
- MOAL**, A. 1996. « Gestion mentale et transfert des apprentissages ». dans *Actes du colloque de gestion mentale*, Paris, Éditions Nathan, p.53-63.
- MOFFET**, J-D. et A. Demalsy. 1994. *Les compétences et la maîtrise du français au collégial*, Rimouski, CEGEP de Rimouski, 196 p.
- MOFFET**, J-D. 1995. Des stratégies pour favoriser le transfert des connaissances en écriture au collégial, *Revue des sciences de l'éducation*, XXI (1), 95-120.
- MONGRAIN**, P. et J. Besançon. 1995. Étude du transfert des apprentissages pour les programmes de formation professionnelle, *Revue des sciences de l'éducation*, XXI (2), 263-288.
- MORISSETTE**, R. 2002. *Accompagner la construction des savoirs*, Montréal, Chenelière/McGraw-Hill, 217 p.
- NADEAU**, M. A. 1988. *L'évaluation de programme: théorie et pratique*, Québec, Presses de l'Université Laval, 430 p.
- NADEAU**, M. 1995. Propositions pour améliorer le transfert des connaissances en orthographe grammaticale, *Québec français*, 89, 35-38.
- NICKERSON**, R. S., D. N. Perkins et E. E. Smith. 1985. *The Teaching of Thinking*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 383 p.
- NOE**, R.A. 1986. Trainees' attribute and attitudes: Neglected influences on training effectiveness. *Academy of Management Review*, 11 (4), 736-749.
- NOISEUX**, G. 1997. *Les compétences de médiateur pour réactualiser sa pratique professionnelle*. Traité de formation à l'enseignement, Tome 1, Sainte-Foy, MST éditeur, 232 p.

- NOISEUX, G.** 1998. *Les compétences de médiateur comme expert de la cognition.* Traité de formation à l'enseignement, Tome 2, Sainte-Foy, MST éditeur, 315 p.
- NOVAK, J. D.** 1977. *A Theory of Education*, Ithaca, Cornell University Press, 295 p.
- NOVAK, J. D.** 1995. Le diagramme conceptuel: un outil qui facilite l'enseignement et l'apprentissage, *Perspectives*, XXV (1), 85-93.
- OCDE/PISA** (Organisation de coopération et de développement économiques)/ Programmes international pour le suivi des acquis des élèves. 1999. *Mesurer les connaissances et compétences des élèves. Un nouveau cadre d'évaluation*, Paris, Les Éditions de l'OCDE, 93 p.
- OCDE** (Organisation de coopération et de développement économiques). 2001. *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie. Premiers résultats du programme international de l'OCDE pour le suivi des acquis des élèves (PISA) 2000*. Les Éditions de l'OCDE, Paris, France. 342 p.
- OLERON, G.** 1968. « Le transfert » Chapitre XII. dans J-F. Le Ny et G. de Montpellier, *Traité de psychologie expérimentale. IV. Apprentissage et mémoire*, Genève, Delachaux et Niestlé, p. 119-181.
- ORPWOOD, G.** 1990. *L'enseignement des sciences et des mathématiques en Amérique du Nord: EN PROGRÈS OU EN DÉCLIN?* Rapport de recherche pour le Conseil de la Science et de la Technologie, Gouvernement du Québec, Document No. 90-01, 167 p.
- OBANYA, P.** 1989. Les réformes de l'éducation en Afrique : des textes à la réalité. *Perspectives*, 22 (2), 181-185
- OUELLET, Y.** 1997. Un cadre de référence en enseignement stratégique, *Vie pédagogique*, 104, 4-11.
- OUELLETTE, M.** 2000. *Élaboration et implantation d'un programme d'enseignement de stratégies d'apprentissages auprès d'élèves de la 9^e année en sciences sociales*, Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal. 393 p.
- PALLASCIO, R. (dir.)** 1990. *Mathématiquement vôtre! Défis et perspectives pour l'enseignement des mathématiques*, Ottawa, Les Éditions Agences D'ARC Inc., 232 p.

- PALLASCIO**, R. et G. Labelle (dir.). 2000. *Mathématiques d'hier et d'aujourd'hui*, Mont-Royal, Modulo, 206 p.
- PALMER**, D. H. 1997. Students' Applications of the Concept of Interdependence of the Issue of Preservation of Species: Observation the Ability to Generalize. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (8), 837-850.
- PAOUR**, J.-L., S. Cèbe et C. H. Haywood. 2000. Learning to Learn in Preschool Education. *Journal of Cognitive Education and Psychology* 1 (1), 1-25, [En ligne] <http://www.iace.coged.orgm> (consulté en juin 2002).
- PARIS** S. G. et P. Winograd 1990. « How metacognition can promote academic transfer learning and instruction », dans B.F. Jones et L. Idol. (Dir.), *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, p.15-51.
- PATEL**, V. L. et G. J. Groen. 1991. « The general and Specific nature of medical expertise: A critical look. », dans J. S. K. Anders Ericsson (ed.), *Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 93-125.
- PEA**, R. D. 1987. Socializing the knowledge transfer problem. *International Journal of Educational Research*, 11, 639-663.
- PEA**, R. 1993. « Practices of Distributed Intelligence and Designs for Education ». dans G. Salomon (Ed.), *Distributed Cognitions*, New York, Cambridge University Press, p. 134-148.
- PERETTI** A. De, J. Boniface et J. A. Legrand. 1998. *Encyclopédie de l'évaluation en formation et en éducation. Guide pratique*, Paris, ESF éditeur, 556 p.
- PERKINS**, D.N. 1991. Technology meets constructivism: Do they make a marriage ? *Educational Technology*, 31(5), 18-23.
- PERKINS**, D. N. 1995. *Smart Schools: Better Thinking and Learning for Every Child*, New York, Free Press, 262 p.
- PERKINS**, D. N. et G. Salomon. 1988. Teaching for Transfer, *Educational Leadership*, 46 (1), 22-32.
- PERKINS**, D. N. et G. Salomon. 1989. Are Cognitive Skills Context-Bound ? *Educational Researcher*, 1, 16-25.

- PERRENOUD**, P. 1997a. *Construire des compétences dès l'école*, Paris, ESF éditeur, 125 p.
- PERRENOUD**, P. 1997b. *Pédagogie différenciée: des intentions à l'action*, Paris, ESF éditeur, 194 p.
- PERRENOUD**, P. 1998. « Construire des compétences, est-ce tourner le dos aux savoirs? » dans *Résonances. Mensuel de l'école valaisanne*, Dossier : Savoirs et compétences, 3, p. 3-7.
- PERRENOUD**, P. 2000. « Différenciation et pratiques pédagogiques favorables au transfert de connaissances ». dans P. Perrenoud (dir.) *Pédagogie différenciée. Des intentions à l'action*, (2^e éd.), Paris, ESF éditeur, p. 53-71.
- PICARD**, J. et Y. Ouellet. 1996. *Stratégies d'apprentissage et méthodes et techniques de travail au primaire*, (2^e éd., revue et corrigée), Québec, Éditions l'Ardoise, 67 p.
- PILON**, J-M. 1993. *Le transfert des apprentissages suite à une activité de perfectionnement au sein des organisations: approche constructiviste et interactionniste*, Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski, 298 p.
- POISSANT**, H. 1995. Les problèmes et leurs stratégies de résolution, *Vie pédagogique*, 92, 39-42.
- POISSON**, Y. 1990. *La recherche qualitative en éducation*, Sillery, Presses de l'Université du Québec, 174 p.
- PRAWAT**, R. S. 1989. Promoting access to knowledge, strategy and disposition in students: A research synthesis, *Review of Educational Research*, 59 (1), 1-41.
- PRESSEAU**, A. 1998. *Le transfert de connaissances en mathématiques chez des élèves de première secondaire: le rôle des interventions et des interactions sociales*, Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal, 252 p. + annexes.
- PRESSEAU**, A. 2003. *La formation continue d'enseignants en milieu autochtone intervenant auprès de jeunes en difficulté : un exemple de recherche-action*. Communication présentée dans le cadre des Lundis interdisciplinaires (10 février), Université du Québec à Trois-Rivières.
- PROULX**, J-M. 1998. Science et technologie: urgence relève ! *Spectre*, 19 (3), 4-7.

- PROVOST**, M. 1994. Des approches pédagogiques qui favorisent l'apprentissage, *Vie pédagogique*, 90, 26-36.
- RAYNAL**, F. et A. Rieunier. 1997. *Pédagogie: dictionnaire des concepts clés. Apprentissage, formation et psychologie cognitive*, Paris, ESF. Editeur, 405 p.
- REED**, S. K. 1999. *Cognition. Théories et applications*, Traduction de la 4^e édition, Bruxelles, De Boeck Université, 600 p.
- REJD**, D. K. et I. Knight-Arest. 1981. « Cognitive processing in learning disabled and normally achieving boys in a goal-oriented task ». dans M.P. Friedman et D. O'Connor (Eds.), *Intelligence and Learning*, New York, Plenum Press, p. 503-405.
- RESNICK**, L. B. 1987. *Education and Learning to Think*. Washington D.C., National Academic Press, 62 p.
- REY**, B. 1996. *Les compétences transversales en question*, Paris, ESF éditeur, 216 p.
- REY**, B. 2001. « Y a-t-il un fondement psychologique de l'interdisciplinarité ? » dans Y. Lenoir, B. Rey et I. Fazenda. (Éds.), *Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement*, Montréal, Les Éditions du CRP, p. 135-145.
- RICHARD**, J-F., C. Bonnet et R. Ghiglione. 1990. *Traité de psychologie cognitive II*, Le traitement de l'information symbolique, Paris, Bordas, 289 p.
- RICHARD**, J-F. 1994a. La résolution de problèmes: bilan et perspectives. *Psychologie française*, 39 (2), 161-175.
- RICHARD**, J-F. 1994b. « La résolution de problèmes ». dans M. Richelle, J. Requin et M. Robert, *Traité de psychologie expérimentale*, Tome 2, Paris, Presses Universitaires de France, p. 523-574.
- RIEUNIER**, A. 2001. *Préparer un cours. Les stratégies pédagogiques efficaces*, (Tome 2), Paris, ESF éditeur, 348 p.
- RONIS**, D. 2002. *Critical thinking in math*, Illinois, Pearson Education Inc, 30 p.
- ROTH**, K. J. 1991. « Reading Science Texts for Conceptual Change ». dans C. M. Santa et D. E. Alvermann (Eds.), *Science Learning. Processes and Applications*, Newark, International Reading Association inc, 165 p.

- ROY, A.** 1995. *Vous avez bien dit: intégration de matières?* (Communication personnelle)
- ROYER, J. M.** 1979. Theories of the Transfer of Learning, *Educational Psychologist*, 14, 53-69.
- ROYER, J. M., C. A. Cisero et M. S. Carlo.** 1993. Techniques and Procedures for Assessing Cognitive Skills, *Review of Educational Research*, 63 (2), 201-243.
- SAINT-PIERRE, L.** 1995. « Quoi faire pour que les élèves étudient mieux et davantage » ? dans J-P. Goulet (Ed.), *Enseigner au collégial*, AQPC, p. 361-370.
- SALOMON G. et T. Globerson** 1987. Skills may not be enough: The role of mindfulness in learning and transfer, *International Journal of Educational Research*, 11, 623-637.
- SALOMON G. et D. N. Perkins.** 1989. Rocky Roads to Transfer : Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon, *Educational Psychologist*, 24 (2), 113-142.
- SALVELSBERGH, E. R., T. De Jong, M. G. M. Ferguson-Hessler.** 1998. « Competence related differences in problems representation ». dans M. van Someren *et al.*, *Learning with Multiple Representations*, Oxford, Elsevier.
- SAMSON, G.** 2002a. *L'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques au secondaire : quelques observations sous la loupe du transfert de connaissances mathématiques*, Concours d'affiche de l'UQTR, 14 p.
- SAMSON, G.** 2002b. *Mathématique, science et technologie : tout un domaine d'apprentissage!* Communication présentée dans le cadre du colloque régional *Apprendre les sciences et la technologie*, 7-8 juin 2002, Université du Québec à Trois-Rivières.
- SAMSON, G.** 2002c. *Le transfert a-t-il un avenir dans l'apprentissage et l'enseignement?* (Dossier : Savoir c'est pouvoir transférer) [En ligne] (408) www.cahiers-pedagogiques.com/complementaires/samson.html
- SANDER, E.** 2000. *L'analogie, du naïf au créatif. Analogie et catégorisation*, Paris, Éditions de l'Harmattan, 218 p.
- SCHMIDT, H. G.** 1983. Problem-Based Learning: Rationale and Description. *Medical Education*, 17, p.11-16.

- SCHOENFELD**, A. H. 1985. *Mathematical problem solving*. Orlando, Academic Press, 409 p.
- SCHOENFELD**, A. H. 1989. « Teaching mathematical thinking and problem solving » dans L. B. Resnick et L. E. Klopfer (dir.), *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research*, Alexandria, VA, Association for Supervision and Curriculum Development, p. 83-104.
- SCRIBNER**, S. 1984. « Studying working intelligence ». dans B. Rogoff et J. Lave (Eds.), *Everyday Cognition : its development in social context*, Cambridge, Harvard University Press, p. 9-40.
- SHAYER**, M. et P. Adey. 1981. *Towards a Science of Science Teaching. Cognitive Development and Curriculum Demand*. London, Heinemann Educational Book, 159 p.
- SIMON**, H. A. 1979. *Models of thought*. London, Yale University Press, 524 p.
- SINGLEY**, M. K. et J. R. Anderson. 1989. *The Transfer of Cognitive Skills*. Cambridge, MA., Harvard University Press, 300 p.
- SHEEHY**, D. 1999. « Pensée critique et enseignement des sciences: le cas des parasciences », dans L. Guilbert, J. Boisvert et N. Ferguson (dir.), *Enseigner et comprendre*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, p. 181-211.
- SOMMERVILLE**, S. C. et H. M. Wellman. 1979. The Development of Understanding as an Indirect Memory Strategy, *Journal of The Experimental Child Psychology*, 27, 71-86.
- SOUSA**, D. A. 2002. *Un cerveau pour apprendre : comment rendre le processus enseignement-apprentissage plus efficace*, (traduction et adaptation de G. Sirois), Montréal, Chenelière/McGraw-Hill, 321 p.
- ST-JEAN**, M. 1994. *L'apprentissage par problèmes dans l'enseignement supérieur*, Dossier publié par le service d'aide à l'enseignement de l'Université de Montréal, 58 p.
- ST-ONGE**, M. 1993. *Moi j'enseigne, mais eux apprennent-ils?* (2^e éd.), Laval, Éditions Beauchemin, 123 p.

- SUTHERLAND**, L. 2002. Developing Problem Solving Expertise: The Impact of Instruction in a Question Analysis Strategy. *Learning and Instruction*, 12, 155-187.
- TARAKDJIAN**, E., G. Tremblay et D. Bégin. 1996. *Le référentiel grammatical: un outil, une méthode. Guide méthodologique*, (2^e éd.), Rimouski, Éditions L'Artichaut, 37 p.
- TARDIF**, J. 1997. *Pour un enseignement stratégique. L'apport de la psychologie cognitive*, (3^e éd.), Montréal, Les Éditions Logiques, 474 p.
- TARDIF**, J. 1999. *Le transfert des apprentissages*, Montréal, Les Éditions Logiques, 223 p.
- TARDIF**, J., M. Désilets, F. Paradis et G. Lachiver. 1995. « Le développement des compétences : cadre conceptuel pour l'enseignement ». dans J-P. Goulet et J-P. Astolfi. *Enseigner au collégial*. Montréal, AQPC, p. 157-168.
- TARDIF**, J. et P. Meirieu. 1996. Stratégie pour favoriser le transfert des connaissances, *Vie pédagogique*, 98, 4-7.
- TARDIF**, J. et A. Presseau. 1998. Quelques contributions de la recherche pour favoriser le transfert des apprentissages, *Vie pédagogique*, 108, 39-44.
- TARDIF**, J. et P. Meirieu. 1999. Stratégies pour favoriser le transfert des connaissances, dans L. Brossard (Dir.) *Pour des pratiques pédagogiques revitalisées*, Québec, Éditions Multimondes, p. 19-33.
- TAYLOR**, M. C. 1997. *Transfert d'apprentissage : la planification des programmes d'éducation efficaces en milieu de travail*. Le Secrétariat, Multiculturalisme et Citoyenneté, Canada, 30 p.
- TESCH**, R. 1990. *Qualitative Research : Analysis Types and Software Tools*, New York, Falmer Press, 330 p.
- THORNDIKE** E. L. et R. S. Woodworth 1901. The Influence of Improvement in One Mental Function Upon the Efficiency of Other Functions, *Psychological Review*, 8, 247-261.
- THOUIN**, M. 1995. Le développement d'instruments de mesure des apprentissages en sciences de la nature au primaire, *Mesure et évaluation*, 18 (1), 95-124.

- TOUPIN**, L. 1993. L'école a-t-elle un miroir? Le transfert des connaissances comme un outil de réflexion sur le projet scolaire, *Vie pédagogique*, 83, 46-49.
- TOUPIN**, L. 1995. *De la formation au métier. Savoir transférer ses connaissances dans l'action*, Paris, ESF éditeur, 205 p.
- TROWBRIDGE**, L. W., R. W. Bybee et J. C. Powell. 2000. *Teaching Secondary School Science. Strategies for Developing Scientific Literacy*, 7^e édition, Ohio, Merrill Columbus, 514 p.
- TURCOTTE**, G. 1984. *De l'un des aspects de la problématique de la connaissance chez des élèves de l'enseignement professionnel court*, Communication personnelle présentée dans le cadre du congrès de l'ACFAS, 24 p.
- UNDERWOOD**, G. C. Deihim et V. Batt. 1994. Expert performance in solving word puzzles : Form retrieval cues to crossword clues. *Applied Cognitive Psychology*, 8, 531-548.
- VAN der MAREN**, J-M. 1995. *Méthodes de recherche pour l'éducation*, Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal, 506 p.
- VAN der MAREN**, J-M. 1996. *La recherche qualitative peut-elle être rigoureuse ?* Montréal, Maclean-Hunter, 9 p.
- VAN GERVEN**, P. W. M., F. G. W. C. Paas, J. J. G. Van Merriënboer et H.G. Schmidt. 2002. Cognitive Load Theory and Aging: Effects of Worked Examples on Training efficiency, *Learning and Instruction*, 12, 87-105.
- VAN SCOTTER**, P., R. W. Bybee et M. J. Dougherty. 2000. Fundamentals of Integrated Science, *The Science Teacher*, 67 (6), 25-28.
- VERGNAUD**, G. et D. Chartier (Coord). 1994. *Apprentissages et didactiques, où en est-on ?* Paris, Hachette Éducation, 206 p.
- VOSS**, J. F. 1989. « Problem solving and the educational process ». dans A. Lesgold et R. Glaser (dir.), *Foundations for a Psychology of Education*, Hillsdale, LEA, p. 251-295.
- WATERS**, A. J., E. Townsend et G. Underwood. 1998. Expertise in musical sight reading: A study of pianists, *British Journal of Psychology*, 89, 123-149.

- WEIL-BARAIS**, A. 1994. « Les apprentissages en sciences physiques », dans G. Vergnaud et D. Chartier (Coord). *Apprentissages et didactiques, où en est-on ?*, Paris, Hachette Éducation, p. 99-126.
- WEINSTEIN**, C. E. et R. E. Mayer. 1986. « The Teaching of Learning Strategies », dans M. C. Wittrock (Ed.) *Handbook of Research on Teaching*, 3rd ed., New York, MacMillan, p. 315-327.
- WHITE**, J. M. 1980. Cognitive processes indicative of readiness for hypothetico-deductive thought: A comparaison of learning disabled and normal adolescents, *Dissertation Abstracts International*, 41-A, 3500.
- WILSON**, R. J. 1996. *Assessing Students in Classrooms and Schools*, Scarborough, Allyn and Bacon, 193 p.
- WOODS**, D. R. 1988. Novice vs. Expert Research Suggests Ideas for Implementation, *College Science Teaching*, 18 (1), 77-79.
- WOODWARD**, J., D. Carnine et R. Gersten. 1988. Teaching Problem Solving Through Computer Simulations, *American Educational Research Journal*, 25 (1), 72-86.
- YAGER**, R. E. et M. V. Lutz,. 1995. STS to Enhance Total Curriculum, *School Science and Mathematics*, 95 (1), 28-35.

LISTE DES APPENDICES

APPENDICE A	Demande adressée au directeur général de la commission scolaire
APPENDICE B	Demande adressée aux directions des écoles ciblées pour la recherche
APPENDICE C	Lettre pour une demande de validation des outils de recherche
APPENDICE D	Lettre aux enseignants collaborateurs
APPENDICE E	Lettre aux parents des élèves ciblés
APPENDICE F	L'épreuve de connaissances et d'habiletés mathématiques et scientifiques
APPENDICE G	Protocole d'entretien semi-directif
APPENDICE H	Lettre de remerciements aux sujets interviewés

APPENDICE A**DEMANDE ADRESSÉE AU DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE LA COMMISSION SCOLAIRE**

Shawinigan, le 24 octobre 1999

Monsieur Jean Lavoie, Directeur général
Commission scolaire de l'Énergie
2072, rue Gignac
Shawinigan, QuÉbec
G9N 6V7

Objet : Autorisation de mener une recherche universitaire de niveau doctoral sur le territoire de la Commission scolaire de l'Énergie.

Monsieur Lavoie,

Avec l'arrivée du prochain millénaire, il est possible de croire que les mathématiques et les sciences occuperont plus de place dans la vie de tous et chacun. Toutefois, il semble que les jeunes continuent de fuir les mathématiques et les sciences et ont de la difficulté dans ces disciplines. Ainsi, des études sont en cours afin de mieux comprendre certains aspects de l'apprentissage dont le transfert des connaissances entre ces deux disciplines.

Une recherche doctorale est prévue au cours de l'année scolaire 1999-2000 auprès de la population étudiante de quatrième secondaire des Écoles Paul-Le Jeune et Val-Mauricie. Une épreuve mathématico-scientifique serait proposée afin de vérifier et de mieux saisir les processus utilisés au niveau de l'apprentissage (résolution de problèmes). De plus, il serait possible que quelques élèves du groupe soient sélectionnés et qu'il y ait des entrevues afin de compléter notre cueillette de données.

Pour mener à terme cette recherche, nous espérons compter sur votre collaboration. D'une part, je souhaite que la Commission scolaire de l'Énergie entérine ce projet en me permettant de travailler avec des élèves du secondaire et d'autre part, me donne l'occasion d'utiliser du temps de travail prévu comme conseiller pédagogique afin de conduire mes recherches.

Suite à votre acceptation, soyez assuré que tous les mécanismes seront mis en place afin de protéger l'intégrité des jeunes et de respecter l'anonymat des données. À ce sujet, vous êtes invité à consulter le protocole de recrutement annexé à cette demande.

S'il s'avérait que des questions se posaient quant à la procédure envisagée, je vous invite à communiquer avec moi.

En terminant, j'apprécierais recevoir une confirmation écrite dès que cela vous sera possible.

Veuillez accepter, Monsieur Lavoie, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Ghyslain Samson
Doctorant à l'Université du Québec à Trois-Rivières

p.j. Protocole de recrutement

c.c. Monsieur Claude Rousseau, directeur des services éducatifs

Shawinigan, le 30 octobre 1999

Protocole de recrutement

Par la présente, j'autorise le doctorant Ghyslain Samson (étudiant à l'Université du Québec à Trois-Rivières) à consulter le dossier personnel, à photocopier et à analyser les travaux produits par mon adolescent dans le cadre d'une recherche s'effectuant dans le cours de sciences physiques (groupe :). Cette recherche se déroulera entre le et 1999 à l'école secondaire Val-Mauricie ainsi qu'à l'école secondaire Paul-Le Jeune de St-Tite.

Il est bien entendu que :

- son nom ne sera jamais dévoilé;
- le chercheur s'engage à protéger la confidentialité des données le concernant et à conserver sous clé les photocopies des travaux ou autres renseignements de mon enfant;
- les documents contenant les données seront détruits, après la diffusion, au plus tard le ...;
- mon enfant pourra se retirer à n'importe quel moment de cette recherche;
- la participation à la recherche n'entraîne aucun travail supplémentaire pour lui ou pour moi.

NOM et PRÉNOM de l'élève (en lettres moulées svp) :

Groupe :

NOM et PRÉNOM du parent ou tuteur (en lettres moulées svp) :

SIGNATURE du parent ou tuteur :

Date :

Veuillez retourner à l'école le coupon-réponse dès que possible.

APPENDICE B

DEMANDE ADRESSÉE AUX DIRECTIONS DES ECOLES CIBLÉES POUR LA RECHERCHE

Shawinigan, le 5 novembre 1999

Monsieur Daniel Bussières
Directeur de l'école secondaire Paul-Le Jeune
405, boul. Saint-Joseph
Saint-Tite, Québec
G0X 3H0

Objet : Autorisation de mener une recherche universitaire de niveau doctoral dans votre école.

Monsieur Bussières,

Je poursuis actuellement des études doctorales à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Depuis maintenant quatre ans, je cherche à mieux comprendre la problématique entourant le transfert des connaissances mathématiques dans les cours de sciences.

La présente est pour vous demander l'autorisation de solliciter la participation de certains élèves de votre école à cette recherche qui se déroulera au cours de l'année scolaire 1999-2000. Un questionnaire mathématico-scientifique sera proposé à des élèves de quatrième secondaire afin de mieux saisir les processus de transfert lors de l'apprentissage. Parmi ces élèves, certains seront sélectionnés pour poursuivre notre investigation à partir d'entrevues. Notre protocole prévoit que les élèves sélectionnés s'absenteront pour une durée maximale de deux heures de leur cours de sciences physiques.

Pour mener à terme cette recherche, nous espérons compter sur votre collaboration. Soyez assuré que nous ferons tout le nécessaire pour respecter la confidentialité des élèves impliqués dans le processus. À ce sujet, vous êtes invité à consulter le protocole de recrutement et à signer la demande de consentement en annexe.

S'il s'avérait que des questions se posaient quant à la procédure envisagée, je vous invite à communiquer avec moi.

Veuillez accepter, Monsieur Bussières, mes salutations les plus sincères.

Ghyslain Samson, doctorant à l'Université du Québec à Trois-Rivières

c.c. Monsieur Jean Lavoie, directeur général
c.c. Monsieur Claude Rousseau, directeur des services éducatifs

DEMANDE DE CONSENTEMENT

La présente atteste que moi, Daniel Bussières, directeur de l'école secondaire Paul-Le Jeune à Saint-Tite accepte que la recherche conduite dans le cadre de la recherche doctorale de Monsieur Ghyslain Samson, telle que décrite dans la lettre d'accompagnement de cette demande de consentement, ait lieu à l'intérieur de l'établissement scolaire dont je suis responsable.

Signature : _____
Date : _____

Cette recherche se déroule sous la supervision de Rodolphe Toussaint, Ph.D., professeur à l'Université du Québec à Trois-Rivières et de Richard Pallascio, Ph.D., professeur à l'Université du Québec à Montréal.

APPENDICE C

LETTRE POUR UNE DEMANDE DE VALIDATION DES OUTILS DE RECHERCHE

Shawinigan, le 15 septembre 1999

Monsieur Abdeljalil Metiou
Professeur, UQAM

Objet : Validation des instruments utilisés dans le cadre d'une recherche doctorale sur le transfert de connaissances entre les mathématiques et les sciences au secondaire.

Monsieur Metiou,

Permettez-moi d'abord de vous remercier d'avoir accepté, si gentiment, de participer à la validation des instruments proposés dans le cadre de ma recherche doctorale. Comme il s'agit d'un projet de recherche, j'apprécierais que la confidentialité des instruments soit respectée.

Vous trouverez, en annexe, un résumé du projet ainsi qu'une liste de questions suggérées pour la validation. Veuillez vous sentir libre de faire des remarques en marge des textes. Si cela était possible pour vous, j'aimerais recevoir vos commentaires avant le 15 octobre 1999 afin que je puisse apporter les modifications nécessaires avant l'étape de l'étude pilote prévue pour cet automne.

N'hésitez pas à communiquer avec moi pour toutes questions pouvant faciliter votre travail.

Vous remerciant à l'avance de l'intérêt porté à mes demandes, je vous prie d'accepter, Monsieur Metioui, mes salutations les meilleures.

Ghyslain Samson, doctorant à l'Université du Québec à Trois-Rivières
Au bureau (819) 539-6971 poste 257

À TITRE DE RÉFLEXION...

Questions générales

- ⇒ Est-ce que les instruments de mesure rencontrent nos objectifs, nos questions de recherche, etc.?
- ⇒ L'échantillon prévu vous semble-t-il suffisant?
- ⇒ Selon vous, le format cahier utilisé pour l'épreuve présente-t-il des avantages? des inconvénients?
- ⇒ Est-ce que le fait de placer un exemple au début de l'épreuve devient facilitant ou au contraire pourrait guider les réponses des sujets.
- ⇒ Selon vous, l'aide-mémoire est-il pertinent?
- ⇒ ...

Questions sur l'épreuve

- ⇒ L'épreuve proposée sera-t-elle assez puissante pour mesurer la capacité à transférer chez un individu?
- ⇒ L'épreuve me permettra-t-elle de distinguer des « bons et des moins bons transféreurs » à partir des indicateurs retenus?
- ⇒ La proportion de problèmes (six contextualisés dont trois en sciences et trois en mathématiques et deux non contextualisés à l'école) vous apparaît-elle correcte?
- ⇒ Les espaces prévus pour répondre aux questions sont-ils suffisants?
- ⇒ ...

NB : L'épreuve a été construite pour des élèves de quatrième secondaire. Elle ne vise pas à mesurer les capacités à résoudre des problèmes ou à vérifier si les élèves maîtrisent bien le contenu de sciences physiques. Nous voulons plutôt évaluer leur capacité à transférer dans une démarche de problèmes à résoudre.

Questions sur le protocole d'entrevue

- ⇒ Les questions du protocole d'entrevue sont-elles en lien avec l'épreuve? et les indicateurs retenus (la similitude, les bases de connaissance, l'organisation des connaissances et le contexte de la situation-problème)?
- ⇒ L'utilisation de concepts mathématiques (pente, proportion, théorème de Pythagore) est-elle pertinente?
- ⇒ Le temps prévu pour les entrevues (entre 30 et 60 minutes) vous paraît-il convenable?
- ⇒ ...

APPENDICE D

LETTRE ENVOYÉE AUX ENSEIGNANTS COLLABORATEURS

Shawinigan, le 5 décembre 1999

Madame Denise Beaudoin, enseignante
École secondaire Paul-Le Jeune

Objet : Autorisation de mener une recherche universitaire de niveau doctoral dans votre classe

Madame Beaudoin,

Je poursuis actuellement des études doctorales à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Depuis maintenant quatre ans, je cherche à mieux comprendre la problématique entourant le transfert des connaissances mathématiques dans les cours de sciences.

La présente est pour vous demander l'autorisation de solliciter la participation de certains élèves de votre classe de sciences physiques à cette recherche qui se déroulera au cours de l'année scolaire 1999-2000. Un questionnaire mathématico-scientifique sera proposé à des élèves afin de mieux saisir les processus de transfert lors de l'apprentissage. Parmi ces élèves, certains seront sélectionnés pour poursuivre notre investigation à partir d'entrevues. Notre protocole prévoit que les élèves sélectionnés s'absenteront pour une durée maximale de deux heures de leur cours de sciences physiques.

Pour mener à terme cette recherche, nous espérons compter sur votre collaboration. Soyez assurée que nous ferons tout le nécessaire pour respecter la confidentialité des élèves impliqués dans le processus. À ce sujet, vous êtes invitée à

consulter le protocole de recrutement en annexe et à signer la demande de consentement.

Vous trouverez, en annexe, un résumé de la recherche. S'il s'avérait que des questions se posaient quant à la procédure envisagée, je vous invite à communiquer avec moi.

Veuillez accepter, Madame Beaudoin, mes salutations les plus sincères.

Ghyslain Samson
Doctorant à l'Université du Québec à Trois-Rivières

APPENDICE E

LETTRE AUX PARENTS DES ÉLÈVES CIBLÉS

Shawinigan, le 2 mai 2000

Objet : Recherche doctorale sur le transfert de connaissances entre les mathématiques et les sciences au secondaire.

Madame, Monsieur,

Avec l'arrivée du millénaire, il est possible de croire que les mathématiques et les sciences occuperont plus de place dans la vie de tous et chacun. Toutefois, il semble que les jeunes continuent de fuir les mathématiques et les sciences et ont de la difficulté dans ces disciplines. Ainsi, des études sont en cours afin de mieux comprendre certains aspects de l'apprentissage et, si possible, espérer améliorer la situation.

La présente est pour vous informer qu'une recherche universitaire s'effectuera à l'intérieur des cours de votre adolescent. Un questionnaire mathématico-scientifique lui sera proposé afin de vérifier et de mieux saisir les processus utilisés au niveau de l'apprentissage. De plus, il est possible que quelques élèves du groupe soient sélectionnés et qu'il y ait des entrevues afin de compléter notre cueillette de données.

Pour mener à terme cette recherche, nous espérons compter sur votre collaboration et celle de votre adolescent. Si vous êtes d'accord, nous vous invitons à compléter la section au verso et nous vous assurons que l'analyse des documents complétés par votre adolescent se fera sous le couvert de la confidentialité.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Ghyslain Samson, doctorant à l'Université du Québec à Trois-Rivières
Conseiller pédagogique, Commission scolaire de l'Énergie (Shawinigan)
(819) 539-6971 poste 257

Protocole de recrutement

Par la présente, j'autorise le doctorant Ghyslain Samson (étudiant à l'Université du Québec à Trois-Rivières) à consulter le dossier personnel, à photocopier et à analyser les travaux produits par mon adolescent dans le cadre d'une recherche s'effectuant dans le cours de sciences physiques. Cette recherche se déroulera entre le 2 mai et le 15 juin 2000 à l'école secondaire Paul-Le Jeune.

Il est bien entendu que :

- son nom ne sera jamais dévoilé;
- le chercheur s'engage à protéger la confidentialité des données le concernant et à conserver, sous clé, les photocopies des travaux ou autres renseignements de mon enfant;
- les documents contenant les données seront détruits, après la diffusion, au plus tard le ...
- mon enfant pourra se retirer à n'importe quel moment de cette recherche;
- la participation à la recherche n'entraîne aucun travail supplémentaire pour lui ou pour moi.
- les données recueillies sont strictement utilisées à des fins de recherche et seront gardées confidentiellement. Son nom et ses réponses ne serviront qu'à cette recherche et ne seront divulgués dans aucune autre.

NOM et PRÉNOM de l'**élève** (écrire lisiblement svp) :

Groupe :

NOM et PRÉNOM du **parent ou tuteur** (écrire lisiblement svp) :

SIGNATURE du **parent ou tuteur** :

Date :

Veuillez retourner à l'école la feuille dûment complétée dès que possible.

Sous la supervision de Rodolphe Toussaint, Ph.D., professeur à l'Université du Québec à Trois-Rivières et de Richard Pallascio, Ph.D., professeur à l'Université du Québec à Montréal.

APPENDICE F

ÉPREUVE de connaissances et d'habiletés mathématiques et scientifiques

Nom de l'élève :	No. du groupe :
Nom de l'école :	
Sexe : féminin <input type="checkbox"/> masculin <input type="checkbox"/>	

Ces questions servent à mieux connaître tes idées à propos des mathématiques et des sciences. Elles sont strictement utilisées à des fins de recherche et les résultats seront gardés confidentiellement. Ton nom et tes réponses ne serviront qu'à cette recherche et ne seront divulgués dans aucune autre.

Directives au sujet

Cette épreuve comprend une série de 8 questions. Ces questions sont abordées par l'entremise de situations-problèmes.

Répondre avec un stylo à encre SVP.

Complète toutes les cases.

Prévoir 50 minutes pour y répondre.

Inspire-toi de l'exemple cité aux deux pages suivantes afin de compléter les questions.

En tout temps, tu pourras te référer à l'aide-mémoire placé en annexe.

Merci de ta précieuse collaboration!

LA TARTE AU CITRON, UN EXEMPLE

Soit la recette suivante :

Ingrédients : 1/3 tasse de chapelure de biscuits Breton; 1/2 tasse de chapelure de biscuits Graham; 1 sachet de Sugar Twin; 1/4 de tasse de margarine; 1 boîte de Jell-O au citron; 187,5 ml d'eau bouillante; 2 tasses de yogourt nature; 1 blanc d'oeuf monté en neige.

- Fondre la margarine dans une casserole appropriée et mélanger la chapelure et le sachet de Sugar Twin. Déposer dans une assiette à tarte et cuire à 350° F pendant 5 minutes. Laisser refroidir complètement.
 - Diluer le Jell-O dans l'eau bouillante. Ajouter le reste des ingrédients en finissant par incorporer délicatement le blanc d'oeuf. Bien mélanger. Réfrigérer la tarte pendant...
- Portion** : Donne une tarte.

Si tu décidais de faire trois tartes, quelle quantité d'ingrédients devrais-tu acheter pour réaliser le tout? N.B. : la tasse à mesurer dont tu disposes n'est pas graduée en ml.

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

- connaissance des fractions
- habileté à suivre un protocole (les étapes)
- règle des proportions (produit croisé)
- ...

B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible. Complète les cases correspondantes :

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)
<ul style="list-style-type: none"> • Chaque quantité sera multipliée par trois. • Les millilitres seront convertis en tasse en utilisant la règle des proportions. • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • ⇒ pour faire trois tartes • ⇒ puisque la tasse à mesurer n'est pas graduée en ml • ...

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ **dans tes cours de sciences physiques?**

• **Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?**

• **Sinon, pourquoi?**

- Oui. Lorsque je devais préparer 50 ml d'une solution homogène de sulfate de cuivre (CuSO_4) à 0,5 mol/L et que la concentration de départ était de 2,5 mol/L. J'ai donc dû utiliser la règle des proportions.

- ...

⇒ **dans un autre cours?**

• **Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?**

• **Sinon, pourquoi?**

- L'utilisation des proportions en mathématiques.

- ...

⇒ **dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?**

• **Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?**

• **Sinon, pourquoi?**

- Oui. À la maison, j'ai dû préparer une solution d'engrais chimique pour arroser les fleurs. Sur l'étiquette, on pouvait lire : diluer 15 millilitres dans quatre litres d'eau. Comme je n'avais qu'un petit contenant de 0,75 litre, j'ai dû utiliser la règle des proportions afin de connaître la quantité de soluté (engrais) à dissoudre dans l'eau.

D) Qu'y-a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

- D'autres recettes.
- Des protocoles de laboratoire dans mes cours de sciences.
- La préparation de la piscine au printemps (ajout de chlore).

LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

1- Pierre est un élève de quatrième secondaire. Il s'amuse à construire des systèmes électriques afin de mieux saisir les principes qui en découlent. Pour ce faire, il prend des mesures à l'aide d'un multimètre et obtient les résultats suivants : la première lecture lui indique une tension de 4 volts et un courant de 0,8 ampères; en faisant varier la tension, il fait une deuxième lecture qui lui indique 2 volts et 0,4 ampères.

Trouve la valeur de la résistance du résistor de son système?

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

**B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.
Complète les cases correspondantes :**

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

L'ÉQUATION CHIMIQUE

2- Soit l'équation suivante : $H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$

Balance l'équation présentée ci-dessus.

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.
Complète les cases correspondantes :

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

LA FENÊTRE

3-Tes parents achètent une maison. Voici quelques paroles de ton père : « C'est fantastique une maison centenaire! Toutefois, nous aurons beaucoup de choses à réparer, les fenêtres sont à refaire, la charpente du toit est à modifier, le ... »

Soit une fenêtre mesurant 2,5 m par 1,3 m. Sachant que ton père a oublié son équerre, comment s'assurer que le cadre de la fenêtre forme un angle droit?

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

--

**B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possibles.
Complète les cases correspondantes :**

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?

- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?

- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?

- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

RÉPARATION DE L'AMPOULE

4-*Dans un grand laboratoire de physique, une ampoule spéciale est fréquemment utilisée pour des expériences. Or, l'ampoule ne fonctionne plus à la suite d'une longue surchauffe qui a fait fondre le filament. L'ampoule coûte très cher et ne peut être remplacée.*

Le filament peut être soudé à nouveau en utilisant des rayons laser avec une intensité suffisamment forte. Toutefois, si tous les rayons laser passent par un même endroit, le tube de l'ampoule, très fragile, se brisera...

Comment faire pour réparer le filament considérant les contraintes énoncées?

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

--

**B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.
Complète les cases correspondantes :**

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

LA STRUCTURE CRISTALLINE

5-Patrice, un élève de 2e secondaire s'adonne à la prospection géologique. Depuis cette année, il s'intéresse à l'étude des minéraux, car il étudie les roches et les minéraux dans son cours de sciences physiques de l'environnement. Dernièrement, il a trouvé un cristal qu'il veut maintenant identifier. Grâce à la loupe binoculaire de son oncle, lui-même géologue, il observe la structure cristalline et arrive à la conclusion que la forme du cristal est un cube. Comment peut-il en être certain? Est-ce qu'il s'agit d'un cube parfait?

- A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?**

- B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.
Complète les cases correspondantes :**

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

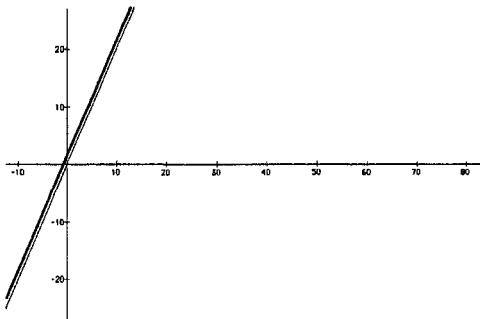
- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

LE CANOT

6-Josée et Rita pensent participer à la « Classique internationale de canots de la Mauricie ». Afin d'améliorer leur performance, elles enregistrent certaines données où y représente la distance parcourue en mètres et x le temps en minutes. Voici le graphique qu'elles ont obtenu :

Distance parcourue en canot



Quel est le taux de variation?

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.

Complète les cases correspondantes :

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

LA TUMEUR

7- En supposant que tu es un médecin faisant face à un patient qui développe une tumeur maligne à l'estomac. Dans ce cas-ci, il est impossible d'opérer le patient mais, si l'on ne détruit pas la tumeur, le patient mourra.

Certains rayons peuvent détruire la tumeur, mais il faut utiliser une grande quantité en même temps. Malheureusement, si tous les rayons passent par un même endroit, les tissus sains seront également détruits.

Comment faire pour détruire la tumeur sans détruire les tissus sains?

A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.

Complète les cases correspondantes :

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eu à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

LE DÉTERGENT

8-La mère de Philippe veut comparer trois marques de savon à lessive (détergent) afin d'acheter le moins coûteux des trois. Pour ce faire, elle fait la lecture des étiquettes sur les boîtes. Voici le résultat de ses observations :

	Marque A	Marque B	Marque C
Masse (quantité)	3,5 kg	3,7 kg	2,8 kg
Prix	8,99 \$	9,37 \$	7,84 \$

Sachant que chaque brassée nécessite environ 95 grammes de détergent, quelle(s) marque(s) choisirais-tu?

- A) Quelle(s) connaissance(s) scientifique(s) ou mathématique(s) te semble(nt) nécessaire(s) pour arriver à résoudre ce problème?

- B) Essaie de résoudre le problème en donnant le plus d'explications possible.
Complète les cases correspondantes :

SOLUTION (Calculs, dessins, etc.)	EXPLICATIONS (Justifications, etc)

C) Les éléments utilisés dans la solution de ce problème te font-ils penser à d'autres problèmes que tu as eus à résoudre par le passé ...

⇒ dans tes cours de sciences physiques?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans un autre cours?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

⇒ dans tes activités de tous les jours (en dehors de l'école)?

- Si oui, peux-tu me donner un exemple (même s'il te semble éloigné)?
- Sinon, pourquoi?

D) Qu'y a-t-il de semblable entre ce que tu as vu dans cette question et ce que tu sais déjà?

AIDE-MÉMOIRE

- **Centenaire** : qui a cent ans ou plus.
- **Équerre** : pièce de bois ou de métal dont la forme présente un angle droit.
- **Forme cristalline** : le cristal respecte une forme géométrique régulière et symétrique.
- **Géologique** : relatif à la géologie. La géologie étant une science ayant pour objet l'étude des matériaux qui constituent le globe terrestre et l'étude des transformations actuelles et passées subies par la Terre.
- **Hypothénuse** : on appelle hypothénuse d'un triangle rectangle le côté opposé à l'angle droit de ce triangle.
- **Loi d'Ohm** : l'intensité du courant qui traverse un résistor est directement proportionnelle à la tension aux bornes des autres éléments. Sa formule est $U=RI$
- **Loupe binoculaire** : microscope à deux oculaires.
- **Multimètre** : appareil multifonctions servant à mesurer entre autres l'intensité du courant et la tension.
- **Prospection** : Activité ayant pour but la découverte de gisements ou leur évaluation.
- **Radiologie** : partie de la médecine qui utilise les rayons X, les isotopes radioactifs et les radiations non ionisantes à des fins thérapeutiques.
- **Rayonnements laser** : rayons provenant d'un appareil pouvant engendrer un faisceau de rayonnements spatialement et temporellement cohérent.
- **Rayons X** : radiations utilisées pour le traitement du cancer.
- **Résistance** : capacité d'un conducteur à s'opposer au passage du courant.
- **Résistor** : conducteur qui respecte la loi d'Ohm.
- **Taux de variation** : est le coefficient de la variable indépendante de l'équation associée à une situation de variation directe, nulle ou partielle.
- **Théorème de Pythagore** : se vérifie par la relation $A^2 + B^2 = C^2$
- **Tumeur maligne** : la tumeur correspond à une augmentation de volume d'une partie d'un tissu ou d'un organe due à une prolifération cellulaire formant un nouveau tissu. On dit qu'elle est maligne lorsqu'elle est cancéreuse.

APPENDICE G

Protocole d'entrevue semi-dirigée

Nom de l'élève :	Âge :
Nom de l'école :	No. du groupe :
Sexe : féminin <input type="checkbox"/> masculin <input type="checkbox"/> As-tu un travail d'été? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Quel est-il?	
Quel métier (profession) exerce ta mère?	
et ton père?	
Date de la passation : / /	

Renseignements importants pour le sujet

Le protocole d'entrevue comporte quatre sections : la première est constituée de questions ouvertes en lien avec l'école. La seconde constitue une sorte de retour sur l'épreuve. La troisième implique de la résolution de problèmes. Enfin, la dernière section est composée de questions globales sur l'ensemble des moyens utilisés pour récolter nos données.

L'entrevue va servir à compléter nos résultats et à mieux connaître tes idées à propos des mathématiques et des sciences. Elle est strictement utilisée à des fins de recherche et sera gardée confidentiellement. Ton nom et tes réponses ne serviront qu'à cette recherche et ne seront divulgués dans aucune autre.

Directives au sujet

L'entrevue est d'une durée minimale de 45 minutes et sera enregistrée sur cassette audio.

En tout temps, tu peux te servir du matériel (papier, crayon, calculatrice, etc.) mis à ta disposition afin d'expliquer tes réponses. Il est important que tu me dises tout ce qui se passe dans ta tête au moment de répondre aux questions.

Section 1 : questions ouvertes sur l'école

- A) Peux-tu m'expliquer ta façon d'étudier ou de faire tes devoirs (à la maison ou à l'école)?
- B) Est-ce la même façon pour toutes les matières? O/N. Donne-moi un exemple?
- C) Selon toi, est-ce que les mathématiques s'étudient? O/N. Pourquoi?
- D) Est-ce que les sciences s'étudient? O/N. Pourquoi?
- E) Lorsque tu as à résoudre un problème de mathématiques ou de sciences, est-ce que tu utilises toujours la (les) même(s) stratégie(s)? O/N. Explique.
- F) Peux-tu me décrire ta façon de résoudre un problème. Autrement dit, quelles sont les étapes de la résolution de problèmes? Explique.
- G) Lorsque tu résous un problème quelconque, as-tu tendance à chercher dans ta mémoire afin de voir si tu as déjà résolu un problème semblable? O/N. Explique.
- H) Est-ce que tu te rappelles de l'épreuve passée le mois dernier? O/N . Donne-moi les éléments dont tu te souviens.
- I) À la page deux (2) de l'épreuve, on te présentait un exemple d'un problème déjà résolu (la tarte au citron). Est-ce que cet exemple a été utile pour toi lors de la passation de l'épreuve? O/N Pourquoi?

Je te remets la copie (de l'épreuve) que tu as faite en mai dernier. Je t'invite à prendre quelques minutes (environ cinq) pour regarder à nouveau les questions et les réponses. D'autres questions viendront par la suite...

Section 2 : retour sur l'épreuve

I) Nous allons maintenant regarder chacune des questions. Je t'invite à dire si tu as eu de la difficulté ou non à résoudre chacune des sous-questions (A, B, C, D et E)? Aussi, tu pourras modifier une réponse si tu le juges nécessaire. Es-tu prêt(e)?

Débutons d'abord par la question no. 1.

A) Tu as eu de la difficulté à résoudre le problème? Oui? Non? Pourquoi?

B) À la question B...

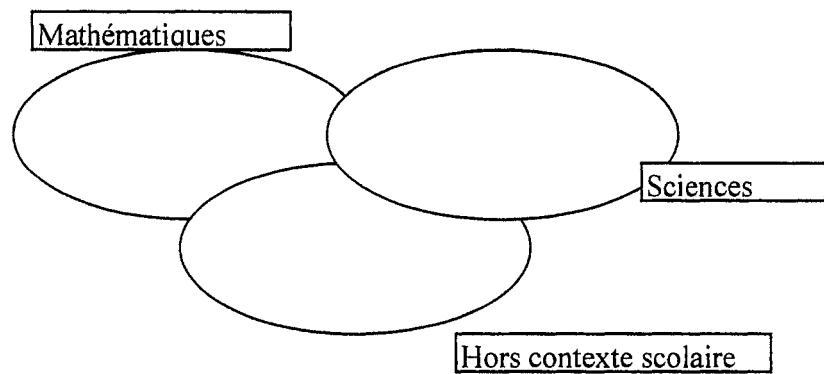
C) À la question C, on te demandait de faire des liens avec d'autres situations rencontrées antérieurement. Pourquoi as-tu répondu que...

D) À la question D...

E) À la question E...

F) Tu as remarqué des similitudes entre... et ... Pourquoi?

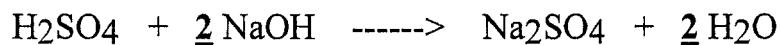
II) Maintenant, si l'on prenait chacun des problèmes de l'épreuve. Peux-tu les classer dans le diagramme suivant (inscrire le chiffre ou la lettre du problème dans l'espace réservé) :



Section 3 : résolution de problèmes

Dans la prochaine section, tu auras à résoudre six problèmes. Prends soin d'y laisser les traces de ta démarche. N'hésite pas à utiliser le verso de la page afin de compléter tes réponses.

A) Soit l'équation suivante :



sera balancée si l'on ajoute 2 devant la molécule de NaOH et de H₂O

Es-tu d'accord? O/N. Pourquoi?

Un élève affirme que ce genre de problème ressemble drôlement à des mathématiques. Et toi, qu'en penses-tu? Peux-tu m'illustrer ton point de vue?

Tes réponses...

B) Compose un *problème de sciences* (**question**) en y incluant *un* des concepts mathématiques suivants :

- ✓ La pente (taux de variation)
- ✓ Les proportions
- ✓ La relation de Pythagore

Par la suite, trouve la **solution** et indique la **réponse** dans les espaces réservés à cette fin.

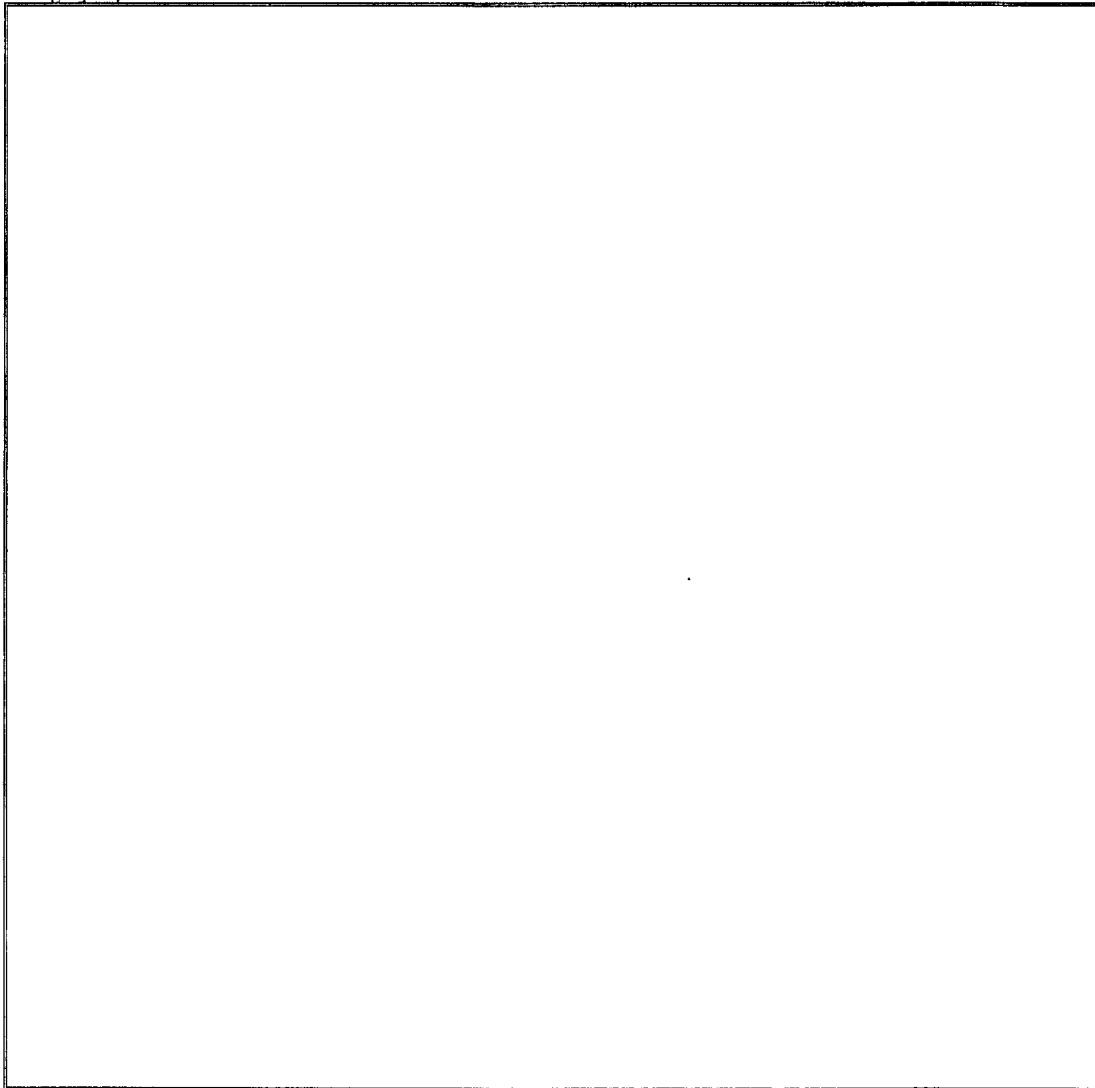
Question :	
Solution :	
Réponse :	

C) Soit la relation suivante : $k = 3t + 9$, complète le tableau des données ci-dessous. Trace ensuite la graphique dans l'espace réservé à cet effet.

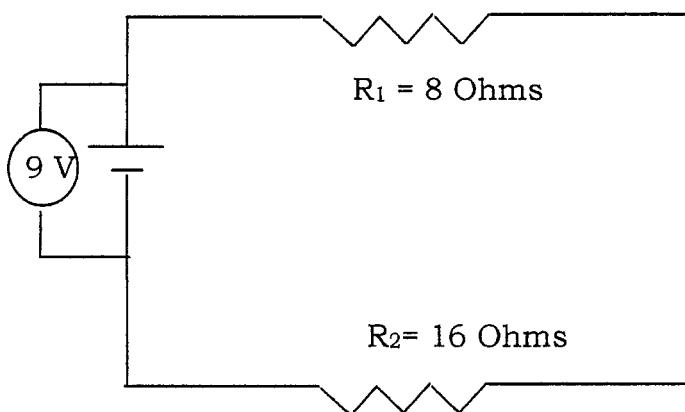
Tableau des données

t	-3		9
k		0	

Le graphique...



D) Soit le circuit suivant présentant deux résistances (résistors) en série :



Quel est l'intensité du courant total (I_{tot}) qui circule dans ce circuit?

Quel est l'intensité du courant (I_1) qui circule dans la résistance R_1 ?

Quel est l'intensité du courant (I_2) qui circule dans la résistance R_2 ?

Calcule la conductance (G) du circuit.

Les calculs...

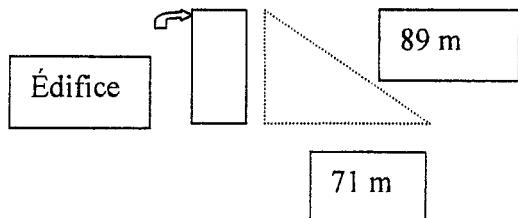
E) Les cartouches d'encre pour une imprimante d'ordinateur caractérisées par leur prix et le nombre de pages qu'elles peuvent imprimer nous indiquent que :

- le coût de la première est de 150,00 \$ et peut imprimer 1850 pages;
- le coût de la seconde est de 183,75 \$ et peut imprimer 2154 pages;
- le coût de la troisième est de 99,00 \$ et peut imprimer 1434 pages;

Selon toi, laquelle est plus avantageuse en terme de rapport qualité-prix?
Classe-les dans l'ordre décroissant.

Les calculs...

F) Calcule la hauteur de l'édifice représenté dans la figure ci-contre :



Les calculs...

Section 4 : questions ouvertes

Je vais maintenant étaler les problèmes résolus (pages 5 à 10) sur la table ...

- A) Parmi les problèmes de la section 3 (résolution de problèmes), lesquels te semblent semblables et pourquoi?
- B) Toujours dans la section 3, est-ce qu'il y avait des problèmes différents à ceux présentés dans l'épreuve? O/N. Lesquels?
- C) Est-ce qu'il y avait des problèmes semblables à ceux présentés dans l'épreuve? O/N. Lesquels?

Encore une fois merci pour ta précieuse collaboration !

APPENDICE H

LETTRE DE REMERCIEMENTS AUX SUJETS INTERVIEWÉS

Shawinigan, le 2 août 2000

Objet : entrevue pour la recherche doctorale

Nom du sujet,

Par la présente, j'aimerais te remercier pour le temps accordé lors de la passation de l'entrevue. Tes réponses et tes idées me seront fort utiles pour compléter mon étude sur le transfert des connaissances entre les mathématiques et les sciences.

Pour te remercier, je t'offre un certificat-cadeau applicable sur un livre de ton choix à la ...

Si tu as des questions, n'hésite pas à communiquer avec moi.

En terminant, je te souhaite de passer de belles vacances et désire te remercier encore.

Ghyslain Samson
(Bur.) 539-6971 poste 257

ANNEXES (LISTE DES TABLEAUX COMPLÉMENTAIRES)

Tableau 1 : Résultats à la question B de l'épreuve.....	306
Tableau 2 : Résultats à la question B de l'épreuve.....	307
Tableau 3 : Résultats à la question B de l'épreuve.....	308
Tableau 4 : Résultats à la question B de l'épreuve.....	309
Tableau 5 : Résultats à la question B de l'épreuve.....	310
Tableau 6 : Codes utilisés pour la question 1 de la section 1 de l'entretien.....	311
Tableau 7 : Synthèse des codages pour chacune des questions.....	312
Tableau 8 : Stratégies et étapes pour la résolution de problèmes (questions e et f de la section 1 de l'entretien).....	314
Tableau 9 : Liens relevés pour chacune des questions de la section 2a de l'épreuve (retour sur l'épreuve).....	315
Tableau 10 : Résultats obtenus pour la section 1 de l'entretien.....	320
Tableau 11 : Relevé des liens signifiés par sujet (retour sur l'épreuve).....	321
Tableau 12 : Relevé des liens signifiés par sujet (liens par question).....	326

Tableau 1 : Résultats à la question B de l'épreuve

Groupe A									
N=22	1	2	3	4	5	6	7	8	X
3	1	4	15	6	0	9	4	2	23,2 %
	(4,5 %)	(18 %)	(68 %)	(27 %)	(0 %)	(41 %)	(18 %)	(9 %)	
2	17	3	4	5	1	9	4	1	
	(77 %)	(14 %)	(18 %)	(23 %)	(4,5 %)	(18 %)	(4,5 %)	(4,5 %)	
1	3	8	2	1	8	4	2	4	
	(14 %)	(36 %)	(9 %)	(4,5 %)	(36 %)	(18 %)	(9 %)	(18 %)	
0	1	7	1	10	13	5	15	15	38,1 %
	(4,5 %)	(32 %)	(4,5 %)	(45,5 %)	(59 %)	(23 %)	(68 %)	(68 %)	

Tableau 2 : Résultats à la question B de l'épreuve

									Groupe B
N=25	1	2	3	4	5	6	7	8	X
3	0	4	12	7	0	10	5	3	20,5 %
	(0 %)	(16 %)	(48 %)	(28 %)	(0 %)	(40 %)	(20 %)	(12 %)	
2	15	4	2	1	1	2	2	5	
	(60 %)	(16 %)	(8 %)	(4 %)	(4 %)	(8 %)	(8 %)	(20 %)	
1	2	2	0	3	1	7	4	2	
	(8 %)	(8 %)	(0 %)	(12 %)	(4 %)	(28 %)	(16 %)	(8 %)	
0	8	15	12	14	23	6	14	15	53,5 %
	(32 %)	(60 %)	(48 %)	(56 %)	(92 %)	(24 %)	(56 %)	(60 %)	

Tableau 3 : Résultats à la question B de l'épreuve

Groupe C									
N=18	1	2	3	4	5	6	7	8	X
3	0	3	3	3	0	6	2	3	14,1 %
	(0 %)	(17 %)	(17 %)	(17 %)	(0 %)	(33,5 %)	(11 %)	(17 %)	
2	16	0	2	1	0	4	0	4	
	(89 %)	(0 %)	(11 %)	(5,5 %)	(0 %)	(22 %)	(0 %)	(22 %)	
1	0	2	2	2	6	6	1	6	
	(0 %)	(11 %)	(11 %)	(11 %)	(33,5 %)	(33,5 %)	(5,5 %)	(33,5 %)	
0	2	13	11	12	12	2	15	5	49,8 %
	(11 %)	(72 %)	(61 %)	(66,5 %)	(66,5 %)	(11 %)	(83,5 %)	(27,5 %)	

Tableau 4 : Résultats à la question B de l'épreuve

N = 20	Groupe D								X
	1	2	3	4	5	6	7	8	
3	7	7	5	3	0	9	3	6	25,0 %
	(35 %)	(35 %)	(25 %)	(15 %)	(0 %)	(45 %)	(15 %)	(30 %)	
2	6	4	6	4	0	2	2	0	
	(30 %)	(20 %)	(30 %)	(20 %)	(0 %)	(10 %)	(10 %)	(0 %)	
1	1	2	2	0	0	4	1	2	
	(5 %)	(10 %)	(10 %)	(0 %)	(0 %)	(20 %)	(5 %)	(10 %)	
0	6	7	7	13	20	5	14	12	52,5 %
	(30 %)	(35 %)	(35 %)	(65 %)	(100 %)	(25 %)	(70 %)	(60 %)	

Tableau 5 : Résultats à la question B de l'épreuve

Groupe E									
N = 28	1	2	3	4	5	6	7	8	X
3	0	4	4	0	0	0	1	2	4,8 %
	(0 %)	(14 %)	(14 %)	(0 %)	(0 %)	(0 %)	(3,5 %)	(7 %)	
2	10	3	9	2	1	2	2	1	
	(36 %)	(11 %)	(32 %)	(7 %)	(3,5 %)	(7 %)	(7 %)	(3,5 %)	
1	2	2	3	0	7	4	4	3	
	(7 %)	(7 %)	(11 %)	(0 %)	(25 %)	(14,5 %)	(14,5 %)	(11 %)	
0	16	19	12	26	20	22	21	22	70,6 %
	(57 %)	(68 %)	(43 %)	(93 %)	(71,5 %)	(78,5 %)	(75 %)	(78,5 %)	

Tableau 6 : Codes utilisés pour la question 1 de la section 1 de l'entretien

CODE	SIGNIFICATION
AIAF*	Aide à le faire
APPC*	Apprendre par cœur
CALC*	Des calculs
COMP*	La compréhension
CONC*	La concentration
COND*	Conditions (musique, silence, moments de la journée, l'endroit, etc.)
DIDI*	Varient selon les difficultés face à la discipline
ETAP*	Le nombre d'étapes varient entre 2 et 5
ETPI*	Certains n'ont rien à dire ou n'en ont pas
ETUD*	On étudie
ETUP*	N'étudie pas ou peu
FDEV*	Faire ses devoirs
FDFP*	Faire le problème deux fois ou vérifier pour...
FENV*	Faire le problème à l'envers
FOAP*	Appliquer des formules
FOET*	Les formules s'étudient
FOIM*	Les formules sont importantes
INQU*	Inventer des questions, cacher avec sa main
INTE*	Intérêt (ordre d'importance)
LOGI*	La logique
MAEP*	Les mathématiques ne s'étudient pas ou peu
MAET*	Les mathématiques s'étudient
MATI*	Varie selon la matière
MEMA*	Chercher dans sa mémoire pour la procédure et non les réponses
PASU*	Cette façon de faire n'est pas utile
PDNO*	Pas de notes
PEUS*	Les sujets se souviennent peu
PEUU*	Un peu utile (ou pas du tout), surtout au début.
PRAT*	C'est de la pratique
PSST*	Certains élèves n'ont pas de stratégies en RDP ou accorde peu d'importance
REPV*	Aide à résoudre plus vite
RESU*	Se faire un résumé
SCHE*	Faire un schéma dans sa tête pour visualiser, pour reformuler
SOMS*	Les réponses sont plus ou moins précises (mathématiques, sciences, fenêtre, laser, etc.)
SOPR*	Certains se souviennent de certains problèmes, du contexte de la question, etc.
SPET*	Les sciences physiques s'étudient (surtout les formules, les définitions des mots, les tests en laboratoire, etc.)
THET*	La théorie s'étudie
TUTI*	Très utile pour d'autres
VISU*	Visualiser dans sa tête

Tableau 7 : Synthèse des codages pour chacune des questions

	Code	Fréquence
Question A) Étude/devoir		
Conditions (musique, silence, moments de la journée, l'endroit, etc.)	COND*	13
Apprendre par cœur	APPC*	3
Intérêt (ordre d'importance)	INTE*	3
La concentration	CONC*	2
Varie selon la matière	MATI*	1
Inventer des questions, cacher avec sa main	INQU*	2
C'est de la pratique	PRAT*	1
N'étudie pas ou peu	ETUP*	1
Visualiser dans sa tête	VISU*	2
Se faire un résumé	RESU*	1
Question B) Façons d'étudier		
On étudie	ETUD*	1
Varient selon les matières	MATI*	7
Varient selon les difficultés face à la discipline	DIDI*	2
Apprendre par cœur	APPC*	3
Visualiser dans sa tête	VISU*	1
La logique	LOGI*	1
La compréhension	COMP*	1
Conditions (musique, silence, moments de la journée, l'endroit, etc.)	COND*	3
La concentration	CONC*	3
C'est plus de la pratique	PRAT*	2
Les mathématiques ne s'étudient pas ou peu	MAEP*	1
Question C) Étude des mathématiques		
Les mathématiques s'étudient	MAET*	2
Les mathématiques ne s'étudient pas ou peu	MAEP*	1
Les formules s'étudient	FOET*	4
C'est plus de la pratique	PRAT*	5
C'est de la logique	LOGI*	1
Il faut comprendre	COMP*	8
Apprendre par cœur	APPC*	2
Les formules sont importantes	FOIM*	4
Appliquer des formules	FOAP*	1
Question D) Étude des sciences physiques		
Les sciences physiques s'étudient (surtout les formules, les définitions des mots, les tests en laboratoire, etc.)	SPET*	5
La théorie s'étudie	THET*	2
C'est plus de la pratique, par des exercices	PRAT*	3
C'est de la logique	LOGI*	5
Faire ses devoirs	FDEV*	1
Apprendre par cœur	APPC*	2
Le nombre d'étapes varie de 2 à 5	ETAP*	1
Varie selon les matières	MATI*	1
Pas de notes	PDNO*	1

N'étudie pas ou peu	ETUP*	1
On étudie	ETUD*	2
Il faut comprendre	COMP*	3
Les formules s'étudient	FOET*	4
Les formules sont importantes	FOIM*	4
Question E) Stratégies utilisées en RDP		
Pas de stratégies en RDP ou accorde peu d'importance	PSST*	1
Le nombre d'étapes varie entre 2 et 5	ETAP*	4
Les formules sont importantes	FOIM*	2
Faire un schéma dans sa tête pour visualiser, pour reformuler	SCHE*	1
Appliquer des formules	FOAP*	2
Faire le problème à l'envers	FENV*	1
Faire le problème 2 fois ou vérifier pour s'assurer que ...	FDFP*	2
Il faut comprendre	COMP*	1
Des calculs??	CALC*	1
C'est plus de la pratique, par des exercices	PRAT*	1
Question F) Étapes de la RDP		
Le nombre d'étapes varie de 2 à 5	ETAP*	8
Rien à dire ou pas de stratégies	ETPI*	1
Les formules sont importantes	FOIM*	2
Des calculs	CALC*	3
Faire deux fois le problème	FDFP*	6
La logique	LOGI*	2
Faire le problème à l'envers	FENV*	2
Appliquer des formules	FOAP*	3
Il faut comprendre	COMP*	1
Faire un schéma dans sa tête pour visualiser	SCHE*	1
Pas de stratégies ou peu importante	PSST*	1
Question G) Recherche en mémoire		
Cette façon de faire n'est pas utile	PASU*	2
L'intérêt peut influencer sur le fait que l'on cherche ou non en mémoire	INTE*	1
Aide à résoudre plus vite	REPV*	1
Aide à le faire	AIAF*	7
Chercher dans sa mémoire pour la procédure et non les réponses	MEMA*	3
Varient selon les difficultés face à la discipline	DIDI*	1
Les formules sont importantes	FOIM*	1
Visualiser dans sa tête	VISU*	2
Question H) Retour sur l'épreuve		
Les sujets se souviennent peu	PEUS*	2
Les réponses sont plus ou moins précises (mathématiques, sciences, fenêtre, laser, etc.)	SOMS*	4
Certains se souviennent de certains problèmes, du contexte de la question, etc.	SOPR*	6
Les formules sont importantes	FOIM*	2
Question I) Utilité de l'exemple de la tarte		
Un peu utile (ou pas du tout), surtout au début.	PEUU*	7
Très utile pour d'autres.	TUTI*	5

Tableau 8 : Stratégies et étapes pour la résolution de problèmes (questions e et f de la section 1 de l'entretien)

Sujet	Étapes
1-2-3-23	1- Je le lis tout comme il faut 2- Je cherche vraiment la question 3- Je sors les données 4- Je le résous
1-2-3-20	1- Je sors mes données 2- Je regarde ce que je vais faire 3- Je souligne les mots importants dans ma question 4- Je reformule la question dans mes mots, dans ma tête 5- J'écris clairement tout ce que j'ai à faire.
1-1-3-19 pour E	1- Sortir mes données du problème 2- Essayer avec ces données là voir lesquelles formules je pourrais appliquées. 3- Sortir les données qui seraient inutiles. 4- Éliminer les données inutiles 5- Essayer de faire quelque chose avec ces données là
1-1-3-19 pour F	1- Je sors mes données du problème 2- Je trouve la formule 3- J'essaie de l'appliquer 4- Trouver la réponse avec ça
1-2-1-24	1- Je lis le problème, du début jusqu'à la fin. 2- Je vais sortir les données importantes 3- Je vais les écrire sur ma feuille 4- Je vais lire le problème 5- Je vais faire le problème 6- Je vais vérifier ma réponse pour savoir si c'est logique avec ma question
1-2-3-21	1- Je lis mon problème 2- J'écris mes données 3- J'écris mes formules 4- J'essaie de faire des calculs assez clairs et puis en étape le plus possible 5- Je mets toujours ma réponse à droite encadrée.
1-1-3-22	1- Je lis le problème pour commencer 2- Je marque des petites données genre sur le côté 3- Je souligne les mots importants dans le texte 4- Je suis le problème
1-2-2-27	1- Lire 2- Sortir toutes mes informations 3- Faire ce qui te demande
2-1-5-29	1- J'analyse toutes mes données, disons comment ça pris de temps. 2- J'marque ma formule. 3- Je l'écris avec des chiffres, s'il te plaît la formule. 4- Je vérifie avec mes chiffres.

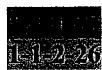
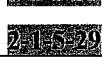
Tableau 9 : Liens relevés pour chacune des questions de la section 2a de l'épreuve (retour sur l'épreuve)

No. Quest.	Sujet	Liens	Classification		
			++	+/-	--
1A		Math.Sc-Physiques (isoler une variable)	14	3	4
1C ₁		L'électricité et les boîtes mystères Cours d'électricité Sc. physiques (volts, ampères, etc.) Plaques Sigmatron Résistances en sciences physiques Labo d'électricité (conductance et résistance) Sc. physiques (résistor, ohmètre,etc.)			
1C ₂		Math (pas précis) Utilisation des formules en math et en sc. physiques. Math et science pour isoler une variable Math et fractions Pas de lien Expériences avec le multimètre en sc. physiques Math			
1C ₃		Pas de lien dans la vie de tous les jours Jeu d'électricité Lien HCS (radio) Pas de lien Pas de lien HCS			
1D		Algèbre et math			
2A		Le balancement d'équations est associé à des calculs mathématiques Sciences physiques (savoir balancer les équations, calculer, savoir les bases, etc.) Algèbre en math et en sc. physiques (balancement d'équations) Math et sc. physiques (connaître la multiplication) Math et sc. physique à cause du signe =	18	7	3
2C ₁		Atomes et molécules (mais pas précis) Un lien avec l'exemple de NaCl Stochiométrie avec le cours de chimie l'an prochain Les laboratoires et l'équilibre Fait un lien Se rappelle des molymod Sc.. physiques, expérience sur le cuivre, etc.) Se rappelle de l'avoir vu au début de l'année L'électricité (problèmes semblables)			

2C₂		Lien avec l'algèbre Ne voit pas le balancement d'équations dans d'autres cours Les mathématiques Fait un lien en disant qu'il arrive souvent que les équations doivent être égales des 2 côtés. Mathématiques Sc. physiques L'algèbre en mathématiques L'algèbre Pas de lien Mathématiques (algèbre)	
2C₃		Rappel d'un jeu de chimie pour le balancement d'équations Le métier de chimiste Lien HCS avec de l'argent Pas de lien	
2D		Lien HCS avec les recettes et les proportions	8 6 3
3A		Pythagore et l'algèbre Pythagore en mathématiques	
3B₂		2 ^e stratégie	
3C₁		Pas de liens avec le cours de sciences physiques	
3C₂		Référence à la 3 ^e secondaire Liens avec math mais pas précis Lien avec la loi des sinus, cosinus Les arts (encadré une image, poteries avec les angles) Liens avec les maths	
3C₃		Liens pas précis Pas de liens HCS. Ne calcule pas de diagonales. Reconnait l'utilité mais ne l'utilise pas Lien HCS, fabrication de la fenêtre Lien HCS (construction d'un camp) Lien HCS (construction d'une cabane) Lien HCS, mais pas capable de me dire lequel	
3D		Les mathématiques et Pythagore	4 3 1
4B		Les maths et les sciences (rayons rouges, énergie, distance)	
4C₁		Fait un lien avec les rayons cathodiques Lien avec sc. physiques, l'intensité, l'ampoule	
4C₂		Référence à la technologie en 3 ^e secondaire La techno de 3	
4C₃		Difficulté à voir un lien à l'extérieur de l'école.	

		Lien HCS (soudure, loupe, survie, cadets de l'air) Lien HCS, ne répare pas l'ampoule, on la change		
5A	 	Fait un lien avec Pythagore et se servir de l'équerre Fait un lien avec les roches en sciences physiques de 2. Parle de loupe binoculaire et sorte de cristaux. Le contexte semble lui causé des problèmes. La géométrie Les sc. physiques de 2 ^e sec. Les sc. physiques, les roches et le microscope	16	8 0
5C ₁	       	Identification de structures cristallines dans le passé (pas précis) Les sc. physiques de 2 ^e sec., roches dans les microscopes. Les sc. physiques de 2 ^e sec. Les formes cristallines les années passées Les formes Lien avec 2 ^e sec. (les cristaux)		
5C ₂	          	Référence au cours de biologie en 3 ^e secondaire Liens avec les prismes en mathématiques Les maths et Pythagore Les mathématiques Les arts plastiques et les formes Les sc. phys. de 2 ^e et de 4 ^e sec., (minéraux) la loupe Le volume, l'aire Les solides en mathématiques L'écologie et la géo, mais pas précis	15	3 3
5C ₃	       	Le jeu de chimie Lien avec la vie de tous les jours (boîtes de céréales) et un cube. Lien HCS, mesurer une planche. Lien, mais pas capable de donner un exemple		
6A	 	Calculer une pente Les mathématiques et sc. physiques. Les mathématiques (le taux de variation)		
6B	 	Les Mathématiques et sciences physiques par rapport au taux de variation		
6C ₁	   	Calcul de la conductance et de la résistance. Liens mathématiques-sciences. Le taux de variation dans différents circuits électriques L'électricité et les graphiques Les graphiques, l'électricité, les laboratoires		
6C ₂	 	Le taux de variation de la droite et le cours de mathématiques Les mathématiques et pente Mathématiques, l'orientation de la droite		

			Les mathématiques (durée du temps sur le nombre de km, en statistique)			
			Les mathématiques, mais pas d'exemple			
6C ₃			Le graphique et une simulation boursière			
			Capable d'établir un lien entre l'utilisation des graphiques et les comptables (HCS) si je pose une sous-question			
			Pas de lien			
			En forçant (sous-question), capable d'avoir un lien entre le calcul de la pente et la construction de route			
			Lien pour calculer le temps pour franchir une distance.			
			Les graphiques et le cours d'éducation physique intensif			
			Pas de lien. Ne calcule pas ses notes à l'école.			
			Pas de lien avec la vie de tous les jours			
			La bourse (article de journal)			
7A			Lien avec ce numéro et celui de l'ampoule	↓	10	5
			Contextualise les questions			1
			Mathématiques, des calculs			
			Sciences physiques pas de calculs sauf en électricité			
7B			Le cancer, cellules, maladie			
7C ₁			C'est surtout l'année prochaine (projection)			
			L'énergie nucléaire			
			Les sc. physiques (rayons cathodiques, anodes, cathodes, etc.)			
7C ₂			La biologie			
			La technologie			
7C ₃			Liens HCS en disant qu'il s'agit d'une situation de la vie de tous les jours.			
			Le cancer de sa grand-mère			
			Lien HCS avec la médecine nucléaire			
			Petit lien HCS (médecines)			
			Pas de lien avec HCS et l'opération des personnes			
			La médecine			
7D			Les sc. physiques, parle des rayons, centrale hydroélectrique, l'uranium, la médecine nucléaire, etc.			
			Une émission de t-v sur le nucléaire			
8A			Mathématiques (faire des rapports)	↓	26	4
8C ₁			L'eau de javel, le cours de sciences physiques et cette question (à cause de la marque, la quantité et le prix)			0
			Etablit un lien entre les proportions et l'électricité (sc. physiques) avec la sous-question			
			Les sc. physiques (soluté, solvant, solution)			
			Calculer les coûts en électricité			
			Les sc. physiques (des exercices sur les concentrations)			

		Lien avec sc. physiques Lien avec les laboratoire en sc. physiques
8C ₂		Associe la question aux mathématiques et à la règle de 3 Lien en math, prix de location d'une voiture et le nombre de km. Rappel du début de l'année. Ils ont fait beaucoup de problèmes semblables.
		Les mathématiques Les mathématiques (rapports, proportions et fractions) Le calcul des rapports (qualité, coûts) en mathématiques L'économie familiale Les mathématiques (nomme une enseignante) Les mathématiques, les rapports Les mathématiques
8C ₃		Proportions et règle de 3 utiles pour l'argent, les notes et dans la vie de tous les jours. Comparer 2 produits rapport quantité/prix (HCS) Liens avec l'épicerie (produit le moins cher) Lien HCS. Comparaison des prix (article le moins cher) Les magasins , produit le moins cher. Lien HCS, calculer ton épicerie Lien HCS, l'achat des produits les moins chers par les parents Lien HCS, les proportions à l'épicerie Lien HCS, entraînement au gym, à l'épicerie (coûts des produits) Lien HCS (salaire vs le nombre d'heures) Lien avec HCS (achat de linge dans un magasin)
8D		Lien HCS (coûts à l'épicerie)

Légende

++	Lorsque le lien est précisé. Par exemple, le calcul de la pente en algèbre ou l'application de la formule de la loi d'Ohm, $U = RI$ en sciences physiques
+/-	Lorsqu'il y a un lien, mais sans préciser. Par exemple, on dira mathématiques ou sciences physiques.
--	Lorsque le sujet ne voit pas de lien



Tableau 10 : Résultats obtenus pour la section 1 de l'entretien

CODE (stratégies)	FREQUENCE	RÉPERTORIÉ DANS LA QUESTION...	INTERPRETATION
AIAF*	7	G	Aide à le faire
APPC*	10	A-B-C-D	Apprendre par cœur
CALC*	4	E-F	Des calculs
COMP*	14	B-C-D-E-F	La compréhension
CONC*	5	A-B	La concentration
COND*	16	A-B	Conditions (musique, silence, moments de la journée, l'endroit, etc.)
DIDI*	3	B-G	Varient selon les difficultés face à la discipline
ETAP*	13	D-E-F	Le nombre d'étapes varie entre 2 et 5
ETPI*	1	F	Certains n'ont rien à dire ou n'en ont pas
ETUD*	3	B-D	On étudie
ETUP*	2	A-D	N'étudie pas ou peu
FDEV*	1	D	Faire ses devoirs
FDFF*	8	E-F	Faire le problème deux fois ou vérifier pour...
FENV*	3	E-F	Faire le problème à l'envers
FOAP*	6	C-E-F	Appliquer des formules
FOET*	8	C-D	Les formules s'étudient
FOIM*	15	C-D-E-F-G-H	Les formules sont importantes
INQU*	2	A	Inventer des questions, cacher avec sa main
INTE*	4	A-G	Intérêt (ordre d'importance)
LOGI*	9	B-C-D-F	La logique
MAEP*	2	B-C	Les mathématiques ne s'étudient pas ou peu
MAET*	2	C	Les mathématiques s'étudient
MATTI*	9	A-B-D	Varie selon la matière
MEMA*	3	G	Chercher dans sa mémoire pour la procédure et non les réponses
PASU*	2	G	Cette façon de faire n'est pas utile
PDNO*	1	D	Pas de notes
PEUS*	2	H	Les sujets se souviennent peu
PEUU*	7	I	Un peu utile (ou pas du tout), surtout au début.
PRAT*	12	A-B-C-D-E	C'est de la pratique
PSST*	2	E-F	Certains élèves n'ont pas de stratégies en RDP ou accorde peu d'importance
REPV*	1	G	Aide à résoudre plus vite
RESU*	1	A	Se faire un résumé
SCHE*	2	E-F	Faire un schéma dans sa tête pour visualiser, pour reformuler
SOMS*	4	H	Les réponses sont plus ou moins précises (mathématiques, sciences, fenêtre, laser, etc.)
SOPR*	6	H	Certains se souviennent de certains problèmes, du contexte de la question, etc.
SPET*	5	D	Les sciences physiques s'étudient (surtout les formules, les définitions des mots, les tests en laboratoire, etc.)
THET*	2	D	La théorie s'étudie
TUTI*	5	I	Très utile pour d'autres
VISU*	5	A-B-G	Visualiser dans sa tête

Note : Les codes ont été déterminés à partir d'une lecture des réponses obtenues. Chaque code est composé de quatre lettres suivies d'une étoile (*). Les stratégies sont en gris

Tableau 11 : Relevé des liens signifiés par sujet

Section 2 A de l'entretien : retour sur l'épreuve
Des liens et... des liens par sujet

1-1-3-23	430
2C2	lien avec l'algèbre
3B2	2 ^e stratégie
3C2	Référence à la 3 ^e secondaire
4C2	Référence à la technologie en 3 ^e secondaire
5C2	Référence au cours de biologie en 3 ^e secondaire
7A	Lien avec ce numéro et celui de l'ampoule
7C1	C'est surtout l'année prochaine (projection)
8C2	Associe la question aux mathématiques et à la règle de 3
8C3	Proportions et règle de 3 utiles pour l'argent, les notes et dans la vie de tous les jours.
1-1-2-26	416
2A	Le balancement d'équations est associé à des calculs mathématiques
2C2	Ne voit pas le balancement d'équations dans d'autres cours
2C3	Rappel d'un jeu de chimie pour le balancement d'équations
3C1	Pas de liens avec le cours de sciences physiques
5C1	Identification de structures cristallines dans le passé (pas précis)
5C2	Liens avec les prismes en mathématiques
5C3	Lien avec le jeu de chimie
6C2	Lien entre le taux de variation de la droite et le cours de mathématiques
6C3	Lien entre le graphique et une simulation boursière
8C1	Lien avec de l'eau de javel, le cours de sciences physiques et cette question (à cause de la marque, la quantité et le prix)
8C2	Lien en math, prix de location d'une voiture et le nombre de km. Rappel du début de l'année. Ils ont fait beaucoup de problèmes semblables.
8C3	Comparer 2 produits rapport quantité/prix (HCS)
1-2-2-28	416
1C2	Lien avec math, mais pas précis
1C3	Pas de lien dans la vie de tous les jours
2C1	Liens avec atomes et molécules, mais pas précis
2C2	Liens avec mathématiques
3C2	Liens avec math mais pas précis
5A	Fait un lien avec Pythagore et se servir de l'équerre
5C2	Lien avec math et Pythagore
6C3	Capable d'établir un lien entre l'utilisation des graphiques et les comptables (HCS) si je pose une sous-question
8C1	Établit un lien entre les proportions et l'électricité (sc. Physiques) avec la sous-question
8C2	Liens avec les mathématiques
8C3	Liens avec l'épicerie (produit le moins cher)
1-2-3-23	416-430
1C2	Lien entre l'utilisation des formules en mathématiques et en sciences

2A	Fait un lien avec les sciences physiques (savoir balancer les équations, calculer, savoir la base)
2C1	Fait un lien. Donne l'exemple avec le NaCl
2C2	Fait un lien en disant qu'il arrive souvent que les équations doivent être égales des 2 côtés.
3C3	Liens pas précis
4C3	Difficulté à voir un lien à l'extérieur de l'école.
5A	Fait un lien avec les roches en sciences physiques de 2. Parle de loupe binoculaire et sorte de cristaux. Le contexte semble lui causé des problèmes.
6C3	Pas de lien
7A	Contextualise les questions Mathématiques, des calculs Sciences physiques pas de calculs sauf en électricité
7C3	Liens HCS en disant qu'il s'agit d'une situation de la vie de tous les jours.
7D	Liens avec sc. physiques, parle des rayons, centrale hydroélectrique, l'uranium, la médecine nucléaire, etc.
8A	Mathématiques (faire des rapports)
8C1	Lien avec sc. physiques (soluté, solvant, solution)
8C3	Lien HCS. Comparaison des prix (article le moins cher)
1-2-3-20	416-430
1C1	Lien avec l'électricité et les boîtes mystères
2A	Liens avec l'algèbre en mathématiques et les sciences physiques (balancement d'équations)
2C2	Lien avec mathématiques
3A	Lien avec Pythagore et l'algèbre
3C3	Pas de liens HCS. Ne calcule pas de diagonales.
3D	Lien avec mathématiques et Pythagore
5A	Lien avec la géométrie
5C1	Lien avec sc. physiques de 2 ^e sec., roches dans les microscopes.
6A	Lien avec calculer une pente Lien entre mathématiques et sc. physiques.
6C1	Calcul de la conductance et de la résistance.
6C2	Liens mathématiques et pente
6C3	En forçant (sous-question), capable d'avoir un lien entre le calcul de la pente et la construction de route
7C3	Le cancer de sa grand-mère
7D	Lien avec une émission de t-v sur le nucléaire
8C2	Lien avec mathématiques (rapports, proportions et fractions)
8C3	Lien magasins , produit le moins cher.
1-1-3-19	416-430
1C2	Lien entre math et science pour isoler une variable
1D	Lien entre l'algèbre et les mathématiques
2C2	Lien avec sc. physiques
5C2	Lien avec mathématiques
5C3	Lien avec la vie de tous les jours (boîtes de céréales) et un cube.
6C1	Liens mathématiques-sciences. Le taux de variation dans différents circuits électriques
6C3	Lien pour calculer le temps pour franchir une distance.

7C2	Lien avec la biologie
8C1	Lien avec calculer les coûts en électricité
8C2	Lien avec le calcul des rapports (qualité, coûts) en mathématiques
8C3	Lien HCS, calculer ton épicerie
1-2-1-24	430
1C1	Lien avec le cours d'électricité
1C2	Lien entre les mathématiques et les fractions
1C3	Lien avec un jeu d'électricité
2A	Lien mathématiques et sciences physiques, connaître la multiplication
2C1	Lien avec la stochiométrie avec le cours de chimie l'an prochain
2C2	Lien avec l'algèbre en mathématiques
2C3	Lien avec le métier de chimiste
3C2	Lien avec la loi des sinus, cosinus
3C3	Reconnait l'utilité mais ne l'utilise pas
4C1	Fait un lien avec les rayons cathodiques
5A	Lien avec sc. physiques de 2 ^e sec.
5C1	Lien avec sc. physiques de 2 ^e sec.
5C2	Lien avec les arts plastiques et les formes
6C1	Lien avec l'électricité et les graphiques
6C3	Lien avec les graphiques et le cours d'éducation physique intensif
7C2	Lien avec la techno
7C3	Lien HCS avec la médecine nucléaire
8C2	Lien avec l'économie familiale
8C3	Lien HCS, l'achat des produits les moins chers par les parents
1-2-3-21	416-430
2A	Lien entre maths et sc. physiques à cause du signe =
2C1	Lien avec les laboratoires et l'équilibre
2C2	Lien avec l'algèbre
2C3	Lien HCS avec de l'argent
2D	Lien HCS avec les recettes et les proportions
3C2	Lien avec les arts (encadré une image, poteries avec les angles)
4B	Lien avec maths et sciences (rayons rouges, énergie, distance)
4C3	Lien HCS (soudure, loupe, survie, cadets de l'air)
5C2	Lien avec sc. phys. de 2 ^e et de 4 ^e sec.,(minéraux) la loupe
6C3	pas de lien. Ne calcule pas ses notes à l'école.
7B	Lien avec le cancer, cellules, maladie
7C1	Lien avec l'énergie nucléaire
7C3	Petit lien HCS (médecines)
8C1	Lien avec sc. physique (des exercices sur les concentrations)
8C2	Lien avec mathématiques (nomme une enseignante)
8C3	Lien HCS, les proportions à l'épicerie
1-1-3-22	416-430
1C1	Lien avec sc. physiques (volts, ampères, etc.)
1C2	pas de lien
1C3	lien HCS (radio)
3C3	lien HCS, fabrication de la fenêtre
4C3	Lien HCS, ne répare pas l'ampoule, on la change

5C2	Lien avec le volume, l'aire
5C3	Lien HCS, mesurer une planche.
6B	Lien entre mathématiques et sciences physiques par rapport au taux de variation
6C2	Mathématiques, l'orientation de la droite
6C3	Pas de lien avec la vie de tous les jours
7C3	Pas de lien avec HCS et l'opération des personnes
8C1	Lien avec sc. physiques
8C3	Lien HCS, entraînement au gym, à l'épicerie (coûts des produits)
1-2-2-27	416
1A	Fait un lien Math-sc. phys (isoler une variable en mathématiques)
1C1	Fait un lien Se rappelle des plaques Sigmatron
2C1	Fait un lien Se rappelle des molymod
3C2	Liens avec les maths
3C3	Lien HCS (construction d'un camp)
5C1	Liens avec les formes cristallines les années passées
5C2	Liens avec les solides en mathématiques
6C1	Lien avec les graphiques, l'électricité, les laboratoires
6C2	Lien avec les mathématiques (durée du temps sur le nombre de km, en statistique)
8C1	Lien avec les laboratoire en sc. physique
8C2	Lien avec les mathématiques, les rapports
8C3	Lien HCS (salaire vs le nombre d'heures)
2-2-5-30	416
1C1	Lien avec la résistance en sc. physique.
1C2	Lien avec les expériences du multimètre en sciences physiques.
1C3	Pas de lien
2C1	Lien avec le cours de sc. physiques, expérience sur le cuivre, etc.)
2C2	Pas de lien
2C3	Pas de lien
3A	Lien avec Pythagore en mathématiques
4C1	Lien avec sc. physiques, l'intensité, l'ampoule
5A	Lien avec sc. physiques, les roches et le microscope
5C1	Lien avec les formes
5C2	Lien avec l'écologie et la géo, mais pas précis
6A	Lien avec mathématiques (le taux de variation)
7C1	Lien avec sc. physiques (rayons cathodiques, anodes, cathodes, etc.)
8C2	Lien avec mathématiques
8C3	Lien avec HCS (achat de linge dans un magasin)
2-1-5-29	416
1C1	Liens avec le labo. d'électricité (conductance et resistance)
1C2	Liens avec mathématiques
2C1	Se rappelle de l'avoir vu au début de l'année
3C3	Lien HCS (construction d'une cabane)
4C2	Lien avec la techno de 3
5C1	Lien avec 2 ^e sec. (les cristaux)
5C3	Lien, mais pas capable de donner un exemple
6C2	Liens avec mathématiques, mais pas d'exemple
6C3	Lien avec la bourse (article de journal)

7C3	Lien avec la médecine
8D	Lien HCS (coûts à l'épicerie)
2-1-4-25	430
1C1	Lien avec sc. physiques (résistor, ohmètre, etc.)
1C3	pas de lien HCS
2C1	Lien avec l'électricité (problèmes semblables)
2C2	Lien avec mathématiques (algèbre)
3C3	Lien HCS, mais pas capable de me dire lequel

Tableau 12 : Relevé des liens signifiés par sujet

Section 2 A
Retour sur l'épreuve
Des liens par question

Les sous-questions ayant conduit au plus grand nombre de liens sont 2C2, 5C2, 6C3, 8C2 et 8C3.

1C1	Liens avec des activités, des laboratoires réalisés en classe.
1C2	Liens avec les mathématiques, mais pas très précis.
1C3	Liens quasi absents
2C1	Liens avec les cours de sciences physiques, les laboratoires, le balancement d'équations, etc.
2C2	Quelques sujets (4) voient un lien avec l'algèbre
2C3	Rien de concluant
3C1	Rien de concluant
3C2	Quelques liens avec mathématiques, mais sans plus
3C3	Donne lieu à l'établissement de plusieurs liens HCS tels (fabrication d'une fenêtre, construction d'un camp, d'une cabane, etc.)
4C1	Pas ou peu de liens
4C2	Pas ou peu de liens
4C3	Pas ou peu de liens
5C1	Plusieurs liens sont faits avec les roches en sciences physiques de 2e secondaire.
5C2	Les liens sont très variés. On parle de mathématiques, des arts, de l'écologie et de la géographie (1a/4 secondaire)
5C3	Pas concluant
6C1	Liens avec l'électricité et le graphique
6C2	Liens avec mathématiques et la pente
6C3	Beaucoup de liens. Les exemples sont très variés (simulation boursière, construction d'une route, performance en éducation physique, etc.)
7C1	Pas très concluant
7C2	Pas très concluant
7C3	Plusieurs liens sont faits avec la médecine, le cancer, etc.
8C1	Liens avec sciences physiques, les laboratoires tant en chimie qu'en physique.
8C2	Beaucoup de liens avec les mathématiques (rapports, proportions, etc.)
8C3	Beaucoup de liens HCS pour l'achat de produits dans des magasins ou à l'épicerie afin de déterminer le prix le moins élevé.