

Université de Montréal

**ANALYSE DIDACTIQUE DE QUELQUES ERREURS
D'APPRENTISSAGE EN INITIATION AUX SCIENCES PHYSIQUES
AU SECONDAIRE**

par

**Nadine Henry
Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation**

**Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès arts (M.A.)**

Mai 2001

© Nadine Henry, 2001



ANALYSE DIDACTIQUE DE QUELQUES ERREURS
D'APPRENTISSAGE EN INITIATION AUX SCIENCES PHYSIQUES
AU SECONDAIRE

par

LB

5

N57

2001

N.030

Madame Henry

Département de didactique

Faculté des sciences de l'éducation

Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès arts (M.A.)



M. A. 2001

Madame Henry, 2001

**Université de Montréal
Faculté des études supérieures**

Ce mémoire intitulé :

***Analyse didactique de quelques erreurs d'apprentissage
en initiation aux sciences physiques au secondaire***

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Louise Poirier Présidente-rapporteuse

Marcel Thouin..... Directeur de recherche

Réal Larose..... Membre du jury

Mémoire accepté : août 2001

SOMMAIRE

Cette recherche vise l'analyse de quelques erreurs d'apprentissage commises par un petit groupe d'élèves de deuxième année du secondaire dans leur cours d'Initiation aux sciences physiques. Les principaux volets de cette recherche sont l'identification des erreurs commises par ces élèves, l'analyse de ces erreurs à la lumière des caractéristiques de diverses catégories et la proposition de stratégies ayant pour but de permettre aux élèves de surmonter les erreurs identifiées.

Les nombreuses séances de travail réalisées avec les élèves ont conduit à l'enregistrement de neuf catégories d'erreurs : les erreurs liées aux obstacles didactiques, les erreurs liées aux obstacles ontogéniques, les erreurs liées à la surcharge cognitive, les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues, les erreurs liées aux obstacles épistémologiques, les erreurs liées au transfert de techniques, les erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques et les erreurs se rapportant aux difficultés conceptuelles.

Parmi ces neuf catégories, sept catégories se sont avérées particulièrement intéressantes pour regrouper des erreurs plus spécifiques à l'apprentissage des sciences physiques. Une de ces sept catégories relève de la relation enseignant-élève. Il s'agit des erreurs liées à la surcharge cognitive, Une de ces sept catégories relève de l'enseignant. Ce sont les erreurs liées aux obstacles didactiques . Une de ces sept catégories relèvent de la relation enseignant-savoir. Il s'agit des erreurs liées au transfert de techniques. Deux de ces sept catégories relèvent de la relation au savoir de l'élève .Ce sont les erreurs liées aux obstacles épistémologiques et les erreurs liées aux difficultés conceptuelles. Deux de ces sept catégories relèvent de la relation élève-savoir. Il s'agit des erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles et des erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques.

Il semble, par ailleurs, que les différentes erreurs peuvent être la manifestation de plusieurs causes. Ces dernières peuvent relever du degré de difficulté de l'item, de la faiblesse des prérequis, ou de l'absence de leur vérification par l'enseignant, des difficultés d'apprentissage propres à un élève dans la construction des concepts ou dans la maîtrise des concepts voisins du concept principal à l'étude, des conceptions fausses ou de leur élaboration, d'une confusion, de l'opacité de manuels utilisés ou de la mésinterprétation d'analogies ou encore d'explications fournies par l'enseignant. Celles-ci peuvent être liées à des difficultés dans la réalisation d'un transfert de techniques, à des troubles de la mémoire et à des obstacles didactiques et épistémologiques.

Elles peuvent provenir aussi du manque d'attention et de concentration de l'élève, de la mauvaise organisation du travail et des troubles de son développement .

Des stratégies d'interventions comportant des lectures, des exercices et, dans certains cas, du travail de laboratoire, ont été élaborées et appliquées avec les élèves qui commettaient l'une ou l'autre de ces types d'erreurs. Ces stratégies d'intervention ont été très efficaces dans le cas des erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques et des erreurs liées au transfert de techniques. Elles ont été relativement efficaces dans le cas des erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, des erreurs liées aux obstacles épistémologiques, des erreurs liées aux difficultés conceptuelles et des erreurs liées à la surcharge cognitive. Elles ont été peu efficaces dans le cas des erreurs liées aux obstacles didactiques.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES.....	xi
REMERCIEMENTS.....	xii
INTRODUCTION	1
PROBLÉMATIQUE.....	5
1. Les concepts clefs.....	6
2. Historique de l'erreur.....	7
3. Facteurs intervenant dans la production de l'erreur.....	9
4. Pertinence de la recherche.....	10
DEUXIÈME CHAPITRE - CADRE THÉORIQUE	11
1. Bachelard et la notion d'obstacle épistémologique.....	13
2. Piaget et la notion de schème.....	16
3. Obstacle d'origine ontogénique	18
4. Obstacle d'origine didactique.....	18
5. L'évolution des conceptions des élèves.....	19
6. Quelques concepts de base de la didactique des sciences	21
7. Le programme d'initiation aux sciences physiques.....	25

8. Les erreurs d'apprentissage en mathématiques	27
9. Les erreurs d'apprentissage en sciences	30
9.1 Erreurs liées au savoir	30
9.1.1 Erreurs liées à la terminologie et aux symboles utilisés.....	30
9.1.2 Erreurs liées aux difficultés conceptuelles.....	31
9.1.3 Erreurs liées aux grands obstacles épistémologiques.....	34
9.2 Erreurs liées à la relation élève- savoir.....	39
9.2.1 Erreurs liées à des conflits de centrations résultant de conceptions non scientifiques	39
9.2.2 Erreurs liées aux écarts aux démarches attendues.....	42
9.2.3 Erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles	42
9.3 Erreurs liées à l'enseignant.....	44
9.3.1 Erreurs liées aux obstacles didactiques.....	45
9.4 Erreurs liées à la relation enseignant-savoir.....	47
9.4.1 Erreurs liées à la rédaction et à la compréhension des consignes.....	47
9.4.2 Erreurs liées aux transferts de techniques.....	48
9.5 Erreurs liées à l'élève.....	50
9.5.1 Erreurs liées aux caractéristiques psychologiques de l'élève.....	51
9.5.2 Erreurs liées aux obstacles ontogéniques.....	52
9.6 Erreurs liées à la relation enseignant - élève	52
9.6.1 Erreurs liées aux états de surcharge cognitive	52
9.6.2 Erreurs liées au décodage de la coutume didactique.....	55.
10. Questions de recherche.....	56
 TROISIEME CHAPITRE - MÉTHODOLOGIE.....	 58
1. Les méthodes quantitatives et qualitatives.....	59
2. Une méthode qualitative.....	59
3. L'entretien de recherche.....	60
4. Situations problèmes et étude de cas.....	61
5. Les instruments.....	63

5.1	Formule d'aide à l'élève qui rencontre des difficultés au secondaire..	63
5.2	Les questionnaires destinés aux enseignants et aux élèves.....	63
5.3	Feuilles de travail des élèves.....	64
5.4	Le journal de bord.....	64
6.	La population.....	64
7.	L'expérimentation.....	64
7.1	Les interviews avec les enseignants.....	66
7.1.1	Les professeurs de mathématiques.....	66
7.1.2	Les professeurs de sciences physiques.....	69
7.2	Les questionnaires des élèves.....	71
7.3	Le pré -test de sciences physiques	74
7.4	Les activités de familiarisation.....	75
7.5	La collecte de données.....	78
QUATRIÈME CHAPITRE - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION.....		80
1.	Les erreurs retrouvées chez les élèves.....	81
1.1	Première erreur.....	81
1.1.1	Présentation.....	81
1.2.	Deuxième erreur.....	82
1.2.1	Présentation.....	82
1.3	Troisième erreur.....	83
1.3.1	Présentation.....	83
1.4	Quatrième erreur.....	84
1.4.1	Présentation.....	84
1.5	Cinquième erreur.....	85
1.5.1	Présentation.....	85
1.6	Sixième erreur.....	86
1.6.1	Présentation.....	86
1.7	Septième erreur	88
1.7.1	Présentation.....	88
1.8	Huitième erreur.....	89
1.8.1	Présentation.....	89

1.9 Neuvième erreur.....	90
1.9.1 Présentation.....	90
2. Classement des erreurs.....	92
2.1 Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles.....	92
2.2 Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques.....	92
2.3 Les erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques.....	93
2.4. Les erreurs liées aux difficultés conceptuelles.....	93
2.5. Les erreurs liées aux obstacles didactiques.....	94
2.6. Les erreurs liées au transfert de techniques.....	94
2.7. Les erreurs liées à la surcharge cognitive.....	95
2.8. Les erreurs liées aux obstacles ontogéniques.....	95
2.9. Les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues.....	95
3. Analyse et stratégies d'intervention	97
3.1 Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles.....	97
3.1.1 Analyse.....	97
3.1.2 Stratégie d'intervention	98
3.2 Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques.....	97
3.2.1 Analyse.....	99
3.2.2 Stratégie d'intervention.....	100
3.3 Les erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques.....	101
3.3.1 Analyse.....	101
3.3.2 Stratégie d'intervention.....	102

	ix
3.4 Les erreurs liées aux difficultés conceptuelles	102
3.4.1 Analyse.....	102
3.4.2 Stratégie d'intervention.....	103
3.5 Les erreurs liées aux obstacles didactiques	104
3.5.1 Analyse.....	104
3.5.2 Stratégie d'intervention.....	105
3.6 Les erreurs liées aux transferts de techniques.....	106
3.6.1 Analyse.....	106
3.6.2 Stratégie d'intervention.....	107
3.7 Les erreurs liées à la surcharge cognitive.....	108
3.7.1 Analyse.....	108
3.7.2 Stratégie d'intervention.....	109
CINQUIEME CHAPITRE CONCLUSION.....	111
BIBLIOGRAPHIE	116
ANNEXES	i
ANNEXE 1 - LES ERREURS DES ÉLÈVES EN SCIENCES PHYSIQUES.....	iii
ANNEXE 2 - ANALYSE DES ERREURS DES ÉLÈVES EN MATHÉMATIQUES.....	vi
ANNEXE 3 - ANALYSE DES ERREURS DES ÉLÈVES EN SCIENCES PHYSIQUES.....	ix
ANNEXE 4 - PRÉ-TEST DE SCIENCES PHYSIQUES.....	xii
ANNEXE 5 - EXEMPLE DE FEUILLE DE TRAVAIL D'UN ÉLÈVE.....	xiv

ANNEXE 6 - EXEMPLE DE PAGE DU JOURNAL DE BORD.....xvi

ANNEXE 7 - EXERCICES CORRECTIFS UTILISÉS.....xix

LISTE DES FIGURES

Figure 1	22
Figure 2	87

REMERCIEMENTS

J'aurais mauvaise grâce si je m'abstenais de rendre un public hommage à tous ceux et toutes celles qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé à réaliser ce mémoire.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à mon directeur de recherche, Monsieur Marcel Thouin, pour le sens critique, la rigueur scientifique, la grande disponibilité, la patience et les grandes qualités humaines dont il a fait preuve tout au long des travaux qui ont permis à ce mémoire de voir le jour.

Je tiens à remercier également les membres de la direction de l'École secondaire Joseph-François-Perrault et plus particulièrement la conseillère pédagogique, Madame Andrée Desrosiers, qui m'a accordée un appui inconditionnel aux différentes étapes de l'intervention.

Je ne saurais omettre dans mes remerciements, Mesdames Isabelle Trépanier et Julie Rivard, enseignantes de mathématiques, Madame Paule Bouchard et Monsieur Frank Mancini, enseignants de sciences physiques ainsi que leurs élèves de l'année scolaire 1998-1999 pour leur contribution à la réussite de l'intervention.

Je ne voudrais pas manquer d'exprimer ici toute ma reconnaissance à la Francophonie et à la Faculté des études supérieures pour le support financier qu'elles m'ont offert durant ses études.

J'aimerais finalement remercier les parents et amis qui m'ont toujours reconfortée au cours de la réalisation de ce travail.

À mon mari.

À ma fille.

À mon frère et à mes sœurs qui ont fait tout ce qui leur était possible pour combler chez ma fille le vide laissé par mon absence.

À mon père.

À la mémoire de ma mère fauchée trop tôt par l'inexorable destin.

INTRODUCTION

La physique a la réputation d'être l'une des matières les plus difficiles de l'ordre d'enseignement secondaire (Toussaint, 1996; Blouin, 1986). Les raisons de cette réputation sont nombreuses: moyennes des résultats des élèves plus basses que dans d'autres matières, taux d'échec relativement élevé, terminologie abstraite, présence de formules et d'équations mathématiques, expériences de laboratoires souvent arides... (Toussaint, 1996). Pas étonnant, dans de telles conditions, que les programmes de certains pays précisent que les enseignants doivent être «séducteurs» afin de susciter l'intérêt et la curiosité des élèves.

Malgré les efforts des enseignants, une majorité d'élèves continuent à éprouver de nombreuses difficultés qui se traduisent par des erreurs en physique. Cette situation entraîne que ces élèves cessent d'étudier cette discipline aussitôt qu'elle n'est plus obligatoire pour l'obtention de leur diplôme d'études secondaires (Désautels, 1980; Saint-Laurent et Suquet, 1987). Il serait donc particulièrement important pour ces élèves de surmonter les erreurs auxquelles ils sont sujet lors de leurs premiers apprentissages, ce qui pourrait contribuer à améliorer leur attitude et à augmenter la possibilité qu'ils persévèrent en physique ainsi que dans les disciplines connexes.

Ce mémoire porte sur l'analyse de quelques erreurs d'apprentissage commises par les élèves dans le cadre du premier cours de physique du secondaire. Ce cours s'intitule «*Initiation aux sciences physiques*». Il vise le développement d'attitudes intellectuelles et sociales, le perfectionnement de certaines habiletés et l'acquisition de connaissances (Programme d'études, 1987). Les principales attitudes sont la rigueur intellectuelle, le jugement et l'esprit critique. Les principales habiletés se rapportent au comportement de l'élève au laboratoire et à la résolution de problèmes. Les connaissances portent sur des concepts de base au sujet de l'atmosphère, de l'écorce terrestre, de la matière et de la chaleur.

Notre expérience dans l'enseignement des sciences, en Haïti, nous a montré que les élèves du secondaire commettent de nombreuses erreurs en sciences. De tels élèves font face à des difficultés dans la matière. Les élèves considérés comme étant en difficulté d'apprentissage sont ceux qui, au sens de la définition du ministère de l'Éducation du Québec, «ne présentent pas de déficiences persistantes et significatives aux plans intellectuel, physique sensoriel, mais éprouvent des difficultés au plan des apprentissages scolaires ou préscolaires» (Legendre,1993). Dans le cas qui nous préoccupe, les difficultés d'apprentissage sont scolaires et se caractérisent plus précisément par les erreurs des élèves du secondaire en sciences physiques. Astolfi (1997) montre que ces erreurs sont liées, par exemple, à la compréhension des consignes données oralement ou par écrit, aux habitudes scolaires et au mauvais décodage, aux préconceptions relatives à la matière enseignée, aux opérations intellectuelles complexes que nécessite la résolution de certains exercices, à la surcharge cognitive ou à la complexité du contenu enseigné. Il s'ensuit que l'acquisition des attitudes, des habiletés et des connaissances ne se réalise pas tel que stipulé par les programmes.

C'est dans l'optique d'une meilleure connaissance de ces erreurs que s'inscrit notre mémoire qui vise à analyser des erreurs d'apprentissage commises par les élèves du cours de sciences physiques de deuxième secondaire et à vérifier si la didactique des sciences peut fournir un cadre de référence adéquat pour préciser cette analyse. Il vise aussi à vérifier si la façon dont les élèves essaient de résoudre des problèmes permet de dépister certaines erreurs et s'il est possible de les classer. Il vise enfin à examiner si l'enseignement est, dans certaines circonstances, responsable de ces erreurs et à explorer la possibilité d'aider les élèves à les dépasser.

Le mémoire comporte les parties suivantes : la problématique, qui présente brièvement les raisons qui nous poussent à entreprendre cette recherche de même que les questions plus précises que nous nous posons; le cadre

théorique, qui décrit les principaux concepts pertinents à l'articulation de la recherche; la méthodologie, qui expose les moyens retenus pour répondre à nos questions de recherche, les résultats et l'interprétation, qui présentent les erreurs retrouvées chez les élèves, et, finalement, les stratégies d'intervention proposées.

PREMIER CHAPITRE

PROBLEMATIQUE

L'étude des erreurs de quelques élèves du secondaire 2 qui est entreprise dans cette recherche inclut dans sa problématique une définition de ses concepts-clefs, un bref historique de l'erreur et un aperçu des facteurs intervenant dans sa production. Une justification de la recherche clôt le chapitre.

1. Les concepts-clefs

Il convient, avant de progresser, de définir chacun des termes-clefs de cette recherche pour mieux les appréhender. On y relève : erreur, obstacle et difficulté d'apprentissage.

Erreur : Brousseau (1983) rapporté par Legendre(1988,p.247) dit que l'erreur est :

«l'effet d'une connaissance antérieure qui avait son intérêt, ses succès mais qui, maintenant, se révèle fausse, ou simplement inadaptée.»

Cette opinion présente l'erreur par rapport à la connaissance antérieure. Elle laisse supposer une évolution dans le statut de la connaissance préalable de l'élève.

Du fait qu'elle considère la connaissance comme«fausse ou inadaptée» suite au moment où elle était vraie, elle ouvre la voie à la possibilité voire la nécessité d'une certaine correction des erreurs de l'élève. En ce sens, elle priorise la vision positive par rapport à la vision négative de l'erreur. Le traitement de l'erreur dans le cadre de cette recherche se fera également dans cette optique.

Obstacle : Legendre (1988,p.428) présente l'obstacle comme :

«la difficulté que rencontre un sujet dans son cheminement et qui peut favoriser ou nuire à son apprentissage.»

Tout le long de cette recherche, on considérera l'obstacle comme une difficulté qui peut entraver l'apprentissage lorsqu'on ne met pas l'élève en situation de la surmonter.

Difficulté d'apprentissage : Legendre (1993,p.371) définit ce terme comme :

«le retard d'acquisition dans l'une ou l'autre des matières scolaires ou dans leur ensemble».

Cela amène à tenir compte du fait que, dans le cadre de cette recherche, la notion de difficulté d'apprentissage sera abordée sous l'angle des principales causes susceptibles de provoquer la survenue d'erreurs dans les travaux de l'élève.

2. Historique de l'erreur

Les enseignants de sciences physiques savent que plusieurs de leurs élèves sont sujets à des erreurs. Ces erreurs sont d'ailleurs souvent plus graves et plus fréquentes en sciences physiques que dans d'autres matières, car il s'agit d'un domaine dont plusieurs concepts sont relativement abstraits et qui nécessite aussi une assez bonne maîtrise des mathématiques (Blouin, 1986; Quessy et Schepper, 1987). En tant qu'enseignante de sciences physiques en Haïti, j'ai souvent été confrontée, moi aussi, aux erreurs d'apprentissage de mes élèves. Il m'arrivait parfois, au début de ma carrière d'enseignante, de croire que les erreurs de mes élèves découlaient principalement de leur distraction ou d'un manque de motivation. Il m'arrivait aussi de croire qu'il suffisait de répéter une explication, en des termes plus simples, pour que les élèves comprennent. L'expérience m'a par la suite montré que la nature et les causes des erreurs des élèves ainsi que les façons de les aider à les surmonter ne pouvaient se limiter à des considérations aussi simples.

Cette constatation est renforcée par le fait que la notion d'erreur a été appréhendée, par divers auteurs, de plusieurs manières différentes, ce qui dénote la complexité d'un tel concept. Cette complexité explique d'ailleurs que jusqu'à récemment, les nombreux efforts des chercheurs en vue de fournir aux élèves des outils les rendant aptes à surmonter leurs erreurs en sciences demeurent encore peu efficaces. Arénilla, Gossot, Roland et Roussel (1996) considèrent l'erreur sous deux angles : l'angle négatif qu'ils relient à une analyse de l'erreur par rapport à ses causes possibles ou à ses conséquences, l'angle positif qu'ils associent à l'assimilation de l'erreur à une étape dans le cheminement vers la connaissance. Astolfi (1997) nuance un peu plus sa position sur la question. Il présente diverses façons de considérer la notion d'erreur. Celles-ci sont issues de trois modèles d'enseignement: le modèle transmissif, le modèle behavioriste et le modèle constructiviste (Astolfi, 1997).

Le modèle transmissif, basé sur le principe de la simple transmission des connaissances, débouche sur un net inconfort des enseignants par rapport aux erreurs rencontrées par leurs élèves car le savoir devrait, en principe, être emmagasiné naturellement. La sanction de l'élève, qui découle des erreurs, peut même devenir une sanction de l'enseignant, s'il remet en question la qualité de son enseignement.

Le modèle behavioriste, ancré sur le principe du renforcement des comportements souhaités, est une façon différente d'envisager l'erreur. L'application d'un tel modèle à l'enseignement implique que la construction de séquences stimulus-réponse appropriées devrait permettre à l'élève d'éviter l'erreur. La récompense, à l'inverse de la sanction reçue dans le cadre du modèle transmissif, vient renforcer les acquisitions faites par l'élève. L'erreur découle alors de séquences non appropriées pour l'élève. Mais ce changement dans le statut de l'erreur ne résout pas le problème d'autonomie de l'élève dans la recherche de la solution à son erreur. Aussi, l'erreur est-elle toujours

redoutée par l'élève et l'enseignant parce qu'elle existe toujours même quand on cherche à l'éviter.

Le modèle constructiviste, qui s'appuie sur le principe de la construction du savoir par l'élève, se caractérise par un changement radical de point de vue, par rapport aux deux modèles précédents, vis-à-vis des erreurs. Abordée sous un angle positif, l'erreur permet de comprendre les processus intellectuels intervenant dans le cadre d'un exercice ou dans celui de la résolution d'un problème. L'erreur n'est plus considérée comme un écart à la norme. Il convient plutôt d'analyser la logique de l'erreur et de voir comment elle fait partie intégrante de l'apprentissage. Il faut donc placer l'élève dans la position où il peut se colleter à des erreurs car c'est ainsi qu'il verse dans la création de solutions visant à les vaincre. C'est également dans ces moments que se réalise son apprentissage.

3. Facteurs intervenant dans la production de l'erreur

Baruk (1973) mentionne l'effet de facteurs autres que l'enseignement sur l'apprentissage d'une matière par l'élève. Elle souligne également l'influence de ces facteurs particuliers sur le rendement d'un élève en sciences. Les facteurs qui expliquent les erreurs des élèves peuvent être externes ou internes à l'acte d'apprentissage. Les facteurs externes sont ceux qui, comme la langue, bien qu'ils ne soient pas issus de la situation d'apprentissage, influent sur elle. Les facteurs internes, comme la compréhension des consignes nécessaires pour la réalisation d'un exercice ou les représentations préalables des élèves relèvent directement de la situation d'apprentissage. Dans le cadre de cette recherche, si les premiers nous seront utiles pour effectuer certaines interprétations, les seconds constitueront l'essentiel de notre questionnement qui porte sur les erreurs d'apprentissage d'une matière scolaire spécifique, la physique.

4. Pertinence de la recherche

De façon plus précise, il nous est donc apparu intéressant d'entreprendre une recherche plus approfondie portant sur les erreurs d'apprentissage en sciences physiques. Les questions suivantes nous semblaient particulièrement pertinentes: les erreurs en sciences sont-elles imputables à l'enseignement, à l'élève ou aux deux ? L'absence de ressources des enseignants face aux erreurs des élèves est-elle en rapport avec l'ignorance des caractéristiques et des modes de présentation des différents types d'erreurs ? Les causes, les mécanismes et les solutions des erreurs en sciences physiques sont-ils connus par les enseignants ? L'erreur en sciences se présente-t-elle sous le même aspect chez tous les élèves ?

Étant donné qu'il nous semblait probable qu'il existe plusieurs types d'erreurs, il nous a semblé plus réaliste, dès le départ, de ne pas nécessairement entreprendre d'en faire une analyse complète et exhaustive, mais de mettre l'accent sur celles qui sembleraient présenter un intérêt particulier, en raison par exemple de leur grande fréquence ou de leur impact sur un grand nombre d'apprentissages en sciences physiques.

Nous croyons que cette recherche, malgré sa portée relativement restreinte, pourrait contribuer à une meilleure compréhension de l'apprentissage des notions de base des sciences physiques et à une amélioration de leur enseignement.

DEUXIEME CHAPITRE

CADRE THEORIQUE

On peut aborder les difficultés générales d'apprentissages d'un élève selon deux grands angles d'approche: la psychopédagogie, quand les erreurs peuvent être surmontées par l'enseignement régulier et l'orthopédagogie, quand l'intervention d'un spécialiste est nécessaire. Selon ces deux angles d'approche, les erreurs d'apprentissage peuvent être analysées en fonction de divers facteurs non spécifiques à une matière scolaire donnée. Il peut s'agir, par exemple, de problèmes sociaux ou familiaux, du climat général de l'école, de relations peu harmonieuses avec les pairs ou avec le personnel de l'école, de la gestion de la classe ou de l'équipe dont fait partie l'élève quand les travaux sont réalisés en groupe, des approches pédagogiques privilégiées, des moyens d'évaluation, etc. Le concept de «bilan fonctionnel», qui est un ensemble de données décrivant les forces et les faiblesses d'un élève rencontrant des difficultés et un plan d'action applicable dans le contexte scolaire pour remédier à ces erreurs (MEQ, 1984), est une illustration de cette approche psychopédagogique ou orthopédagogique.

Cependant, lorsqu'il s'agit de se pencher sur les difficultés d'apprentissages d'un élève dans une matière spécifique, l'angle d'approche de la didactique ou, dans certains cas, de l'orthodidactique, semble plus adéquat. En effet, la didactique, qui se caractérise par une centration de plus en plus affirmée sur les contenus de l'enseignement, se fonde précisément sur la prise de conscience qu'il existe des erreurs d'appropriation qui sont intrinsèques au savoir.

Pour mieux comprendre les raisons pour lesquelles les élèves commettent des erreurs en initiation aux sciences physiques, nous nous appuierons d'abord sur les deux références fondamentales que constituent, en didactique, la notion d'obstacle chez Gaston Bachelard et la notion de schème chez Jean Piaget. Nous présenterons aussi les principaux concepts de la didactique, et particulièrement de la didactique des sciences, qui peuvent fournir un cadre de référence permettant d'analyser les erreurs d'apprentissages des élèves. Nous

présenterons ensuite le programme d'initiation aux sciences physiques de deuxième secondaire. En dernier lieu, nous proposerons une typologie des erreurs d'apprentissage dans cette matière.

1. BACHELARD ET LA NOTION D'OBSTACLE ÉPISTÉMOLOGIQUE

L'étude du problème de la connaissance scientifique doit prendre en compte l'obstacle épistémologique (Brousseau, 1998). Le lien entre le mécanisme d'acquisition des connaissances et la notion d'obstacle épistémologique a été bien présenté par Bachelard (1938):

Il ne s'agit pas de considérer des obstacles externes comme la complexité ou la fugacité des phénomènes ni d'incriminer la faiblesse des sens et de l'esprit humain; c'est dans l'acte même de connaître intimement qu'apparaissent par une sorte de nécessité fonctionnelle des lenteurs et des troubles... On connaît contre des connaissances antérieures mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même fait obstacle.

Les obstacles font partie intégrante de la connaissance. Selon Brousseau (1983), «les obstacles épistémologiques sont ceux auxquels on ne peut échapper ni ne doit échapper, du fait même de leur rôle constitutif dans la connaissance visée. On peut les retrouver dans l'histoire des concepts eux-mêmes. Cela ne veut pas dire qu'on doit amplifier leur effet ni qu'on doit reproduire en milieu scolaire les conditions historiques où on les a vaincus».

Un obstacle épistémologique est donc une façon non scientifique d'expliquer un phénomène naturel. Il présente les caractéristiques suivantes (Fabre, 1995) :

- il est intériorisé, c'est-à-dire qu'il fait partie intégrante de l'esprit, et il n'y a pas apprentissage sans obstacle;
- il correspond à une facilité, celle de recourir à une explication habituelle;
- il est résistant, c'est-à-dire qu'il est difficile à déplacer et à remplacer par une nouvelle explication;

- il est ambigu parce que «tout mode de fonctionnement mental présente la double dimension d'outil nécessaire et de source potentielle d'erreur»;
- il est transversal, dans le sens qu'un obstacle ne se limite pas à la connaissance d'un phénomène, mais s'étend aussi à celle d'autres phénomènes et à d'autres domaines;
- il est récursif, c'est-à-dire que même quand les erreurs sont identifiées, les obstacles ne sont pas nécessairement franchis.

Le concept d'obstacle s'intègre donc à l'acquisition de la connaissance scientifique puisqu'il présente des caractéristiques communes avec cette connaissance. Selon Brousseau (1983),

«l'obstacle est constitué comme une connaissance, avec des objets, des relations, des méthodes d'appréhension, des prévisions avec évidence, des conséquences oubliées, des ramifications imprévues... Il va résister au rejet, il tentera comme il se doit de s'adapter localement, de se modifier aux moindres frais, de s'optimiser sur un champ réduit, suivant un processus d'accommodation bien connu.

D'autres auteurs ne partagent pas ce point de vue de Brousseau à propos de l'obstacle. Glaeser (1984) rejette cette thèse qui présente, selon lui, «des contradictions et quelques erreurs factuelles ». Il relève par exemple, le fait que Brousseau (1983) a tendance à considérer l'élève comme un simple récepteur. Il avance même que celui-ci confond ses situations-problèmes et les problèmes dont les objectifs sont différents. Il rapporte aussi que Brousseau considère exercice et problème comme synonymes. Il lui reproche enfin son point de vue à propos de l'obstacle, car, selon lui, la théorie émise par Bachelard (1938) à laquelle il se réfère ne fait état d'aucune connaissance mal faite comme exemple d'obstacle. Il met aussi en doute la méthode selon laquelle Brousseau à partir d'une définition accorde ou refuse le statut d'obstacle.

Le concept d'obstacle a ainsi fait l'objet de grandes discussions et il continue à susciter l'intérêt des didacticiens pour lesquels il représente une étape essentielle de l'acquisition des connaissances puisque c'est par elle que doivent s'opérer les rectifications visant à l'évolution du savoir au cours de la scolarité.

La présentation de la notion d'obstacle nous amène à considérer l'erreur qui en est l'indice comme le témoin d'une activité intellectuelle véritable chez l'élève. Bachelard (1967) stipule en effet que l'apprentissage se réalise par le combat et la victoire contre les obstacles que sont l'observation première, la généralisation abusive, l'analogie, le substantialisme, l'animisme, l'obstacle verbal, etc. En ce sens, il conseille aux enseignants de sciences de commencer toute initiation scientifique en tâchant de dépouiller l'élève de tout ce qui, des points de vue intellectuel et affectif, pourrait représenter un blocage à l'entrée de la nouvelle connaissance. C'est alors et alors seulement qu'il leur sera possible d'installer une « connaissance ouverte et dynamique », c'est-à-dire une connaissance au sein de laquelle les difficultés et les erreurs joueront pleinement leur rôle d'indicateur d'obstacle à surmonter par les techniques appropriées – en lieu et place d'un « savoir fermé et statique ».

Certaines erreurs des élèves en initiation aux sciences physiques sont la manifestation d'obstacles épistémologiques tels que définis par Bachelard. L'obstacle de l'*univocité des relations*, qui consiste à expliquer un phénomène par une causalité linéaire simple – l'élève qui connaît le baromètre dira, par exemple, qu'il pleut parce que la pression atmosphérique est basse, sans réaliser que plusieurs autres facteurs, tels que le taux d'humidité ou le passage d'un front, expliquent le fait qu'il pleuve – ou l'*obstacle substantialiste*, qui consiste à expliquer un phénomène en ayant recours à une substance – l'élève dira, par exemple, que la chaleur est une substance qui circule facilement dans les objets métalliques – se rencontreront, par exemple, chez certains élèves.

L'obstacle se traduit généralement par des erreurs que Serres (1991,1994) considère comme des figures déterminantes de tout apprentissage. Les erreurs ou symptômes intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves est confrontée (Astolfi, 1997) se présentent dans les travaux de l'élève et sont susceptibles de se représenter sans que l'enseignant puisse expliquer leur origine ou le processus qui a abouti à leur apparition dans les productions de l'élève.

Selon Brousseau(1983) :

les erreurs, ne sont pas dues au hasard. Fugaces, erratiques, elles sont reproductibles, persistantes. De plus, ces erreurs, chez un même sujet sont liées entre elles par une source commune : une manière de connaître, une conception caractéristique, cohérente sinon correcte, une « connaissance » ancienne et qui a réussi dans tout un domaine d'actions. Il arrive qu'elles ne disparaissent pas radicalement, d'un seul coup, qu'elles persistent puis resurgissent, se manifestent longtemps après que le sujet ait rejeté le modèle défectueux de son système cognitif conscient.

2. PIAGET ET LA NOTION DE SCHÈME

De Bachelard à Piaget, les explications de l'origine des erreurs diffèrent un peu. Le premier insiste sur le fait que les erreurs d'un élève sont les signes qu'il est aux prises avec des obstacles qui résistent et qu'on tend à sous estimer. Le second soutient, par contre, que l'élève doit, au cours de son développement mental, traverser une série d'étapes durant lesquelles son esprit parviendra à la maturité.

Selon Piaget (1969, 1970 et 1975), on ne peut pas brusquer les étapes d'un apprentissage car l'élève dispose de schèmes qui sont des instruments de connaissance pour comprendre et interpréter la réalité extérieure, et ces schèmes ne peuvent être modifiés de façon instantanée. Legendre-Bergeron (1980, citée par Astolfi, 1997), poursuit et complète cette idée de Piaget en

stipulant que les schèmes se caractérisent par le fait qu'ils se conservent, se consolident et se généralisent avec le temps.

L'évolution des schèmes est liée aux déséquilibres que produisent les interactions de l'élève avec le milieu. Selon Piaget (1975), deux processus se réalisent lorsqu'un fait nouveau survient dans l'expérience personnelle de l'élève: l'assimilation et l'accommodation. Droz et Rahmy (1974) considèrent que ces mécanismes sont à la fois antagonistes et complémentaires. Piaget (1975) précise un peu plus loin le sens de ces deux concepts de base de sa théorie. Au moment où le fait se présente à l'élève, il est d'abord interprété à la lumière des schèmes de l'élève, qui ne subissent alors aucune modification. C'est l'*assimilation*. Le fait peut aussi produire une perturbation cognitive par rapport au fonctionnement mental déjà installé. Si la perturbation est intégrée au système, il se produit alors une *accommodation* ou rééquilibration qui correspond à un véritable apprentissage. C'est pourquoi Piaget dira que «la source réelle du progrès est à rechercher dans la rééquilibration, non pas naturellement d'un retour à la forme antérieure d'équilibre dont l'insuffisance est responsable du conflit auquel cette équilibration provisoire a abouti, mais, d'une amélioration de cette forme précédente» (Piaget, 1975).

Par ailleurs, il convient d'insister sur le fait que l'élève construit ses connaissances physiques et mathématiques. Il utilise ses schèmes ou connaissances antérieures (Piaget, 1950) pour réaliser une structuration des données, appelées aussi observables, puis, au moyen d'une forme de schème différente, appelée coordination, il établit des liens entre ces données. Cela représente encore une forme d'équilibration propre à la maîtrise des connaissances physiques et mathématiques. Ce procédé nommé abstraction simple et réfléchissante (Piaget, 1975) fait ainsi appel à une sorte d'échange entre l'élève et son milieu, ce qui lui permet de mieux maîtriser son environnement. Une telle démarche est propre à inciter l'élève à élaborer des conceptions qualitatives adéquates de certains phénomènes physiques et

d'outils logico-mathématiques nécessaires à ces constructions (Legendre, 1995). Ceci démontre le rôle important des notions d'observables et de coordinations dans un apprentissage satisfaisant des mathématiques et des sciences. En somme, il représente en quelque sorte, un moyen d'arriver à l'accommodation. Toutefois, l'accommodation ne se fait pas toujours sans mal et plusieurs erreurs d'apprentissage des élèves proviendront des perturbations cognitives causées par des faits nouveaux.

Les concepts de schème et d'obstacle, bien qu'ils ne soient pas du même ordre, représentent les aspects essentiels des théories de Piaget.

3. OBSTACLES D'ORIGINE ONTOGÉNIQUE

Les obstacles d'origine ontogénique se manifestent à certaines étapes du développement et dépendent étroitement des troubles de la croissance. La difficulté éprouvée par un élève dans la compréhension d'une notion ou d'un concept est quelquefois liée à une limitation de son développement ou au fait qu'il n'a pas encore atteint le niveau de développement mental adéquat. Leur apparition se fait selon des stades et leur mise en place se réalise au moyen des processus d'accommodation et d'assimilation à la base de la théorie de Piaget (1975). Brousseau (1983) les présente comme ceux survenant «du fait des limitations (neurophysiologiques entre autres) du sujet à un moment donné de son développement : il développe des connaissances appropriées à ses moyens et à ses buts à cet âge-là».

4. OBSTACLE D'ORIGINE DIDACTIQUE

Considérés actuellement comme des obstacles didactiques et socioculturels, les obstacles d'origine didactique proviennent généralement des choix faits par les responsables ou par les décideurs du système éducatif (Brousseau, 1983). Ces choix qui sont souvent aussi vieux que l'introduction dans le programme des

concepts auxquels ils se rapportent peuvent représenter une source de blocage dans l'apprentissage de notions plus complexes par l'élève dans la suite.

Il en est ainsi de la comparaison du courant électrique à l'eau circulant dans un conduit. Une telle analogie aide l'élève à assimiler dans un premier temps la notion de voltage et d'ampérage mais augmente, dans un second temps, le degré de difficulté dans la compréhension ultérieure des différents types de circuit. Certaines façons de présenter une notion, loin d'aider à franchir un obstacle épistémologique ou à améliorer une conception, les enracinent plus profondément encore (Thouin, 1997).

5. L'ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES

Les visions de Piaget et de Bachelard sont complémentaires. Alors que Piaget met de l'avant un paradigme génétique centré sur la notion de développement, Bachelard propose un paradigme historique centré sur la rectification. Depuis environ une vingtaine d'années, grâce entre autres aux travaux de Martinand (1986), Giordan (1987, 1993), Astolfi (1989), Develay (1989), Driver (1989), Joshua et Dupin (1993) et plusieurs autres, les idées de Piaget et de Bachelard ont été mises à profit dans le développement d'une approche centrée sur l'évolution des conceptions des élèves. Selon Giordan et de Vecchi (1987), le terme «conception» peut être défini comme «une structure sous-jacente, un modèle explicatif» auquel les élèves ont recours lors de la mise en place de nouvelles connaissances.

Les conceptions sont souvent à l'origine des réponses fausses des élèves. Certains exemples de ces conceptions se retrouvent dans les travaux de Viennot (1979), Vuilleumier (1983), Simard et Cen (1989). L'analyse des conceptions montre que ces réponses incorrectes sont basées sur un mode de raisonnement organisé les rendant propres à clarifier les phénomènes naturels. D'ailleurs, la première caractéristique des conceptions est qu'elles persistent souvent jusqu'à l'âge adulte et résistent à l'enseignement des sciences tel qu'il

est dispensé actuellement dans la plupart des écoles du monde (Resnick, 1982).

Les conceptions préscientifiques font partie de notre bagage intellectuel d'élève; c'est à travers elles qu'on comprend... elles sont à la base de la connaissance en constituant une sorte de substrat au savoir. Mais quand on veut les faire se transformer, elles peuvent s'avérer coriaces. En effet, même après un long apprentissage dans le domaine des sciences, elles nous guident encore dans notre appréhension de la réalité quotidienne et cela est aussi valable pour les scientifiques eux-mêmes dès qu'ils sortent de leur domaine de compétence (Giordan et de Vecchi, Les origines du savoir, 1987, p. 64)

En outre, un même phénomène naturel conduit à des interprétations très différentes d'un élève à l'autre. Ceci s'explique par le fait que chacun d'eux a des façons de voir personnelles qui dépendent de leur mode particulier de reconstruction de leur environnement. En outre, les conceptions semblent parfois incohérentes et même contradictoires. Par exemple, un même élève interprète de façon très différente des phénomènes scientifiques équivalents (Driver, 1989).

L'enseignement devrait donc constamment s'appuyer sur les modèles explicatifs des élèves et se donner comme but global de favoriser une réflexion à partir des conceptions et une évolution des conceptions (Giordan, 1978, 1994; Martinand, 1989; Chomat et Sere, 1983; Astolfi, Cauzinille-Marmèche, Giordan, Henriques-Christophidès, Mathieu et Weil-Barais, 1984; Désautels et Lauzon, 1988; De Vecchi, 1992). Cette évolution a d'autant plus de chance de se produire que la confrontation de l'élève avec certains phénomènes ou certaines informations suscite chez lui une certaine insatisfaction par rapport à ses conceptions habituelles et que les nouvelles conceptions lui semblent intelligibles, plausibles et paraissent fécondes, c'est-à-dire qu'elles permettent d'expliquer des phénomènes qui paraissent difficilement explicables à l'aide des conceptions habituelles (Strike et Posner, 1982). L'apprentissage des sciences, dont le succès repose sur un certain paradoxe, nécessite une rupture par rapport au

monde des conceptions habituelles, mais doit néanmoins prendre racine dans ces mêmes conceptions.

6. QUELQUES CONCEPTS DE BASE DE LA DIDACTIQUE DES SCIENCES

La didactique comporte un volet théorique, qui vise à décrire et à expliquer les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage, et un volet empirique, parfois connu sous le nom d'ingénierie didactique, qui vise à observer le système d'enseignement et parfois à intervenir dans le système d'enseignement. Dans un cas comme dans l'autre, plusieurs auteurs (Astolfi et Develay, 1989; Cornu et Vergnioux, 1992; Astolfi, Darot, GinsburgerVogel, Toussaint, 1997; Astolfi, 1997; Toussaint, 1996) utilisent le triangle didactique (figure 1) qui présente trois sommets nommés élève, savoir, enseignant comme modèle de représentation des concepts de base de la didactique. C'est également à partir du triangle didactique que l'on étudiera les erreurs liées à la relation enseignant-élève, celles liées à l'enseignant, celles liées à la relation enseignant-savoir, celles en rapport avec l'élève, celles liées à la relation élève-savoir. Il faut noter aussi que ces erreurs traduiront assez souvent les anomalies existant soit dans la relation entre ces différents éléments de la situation d'apprentissage soit chez l'une ou l'autre des entités importantes de ce triangle.

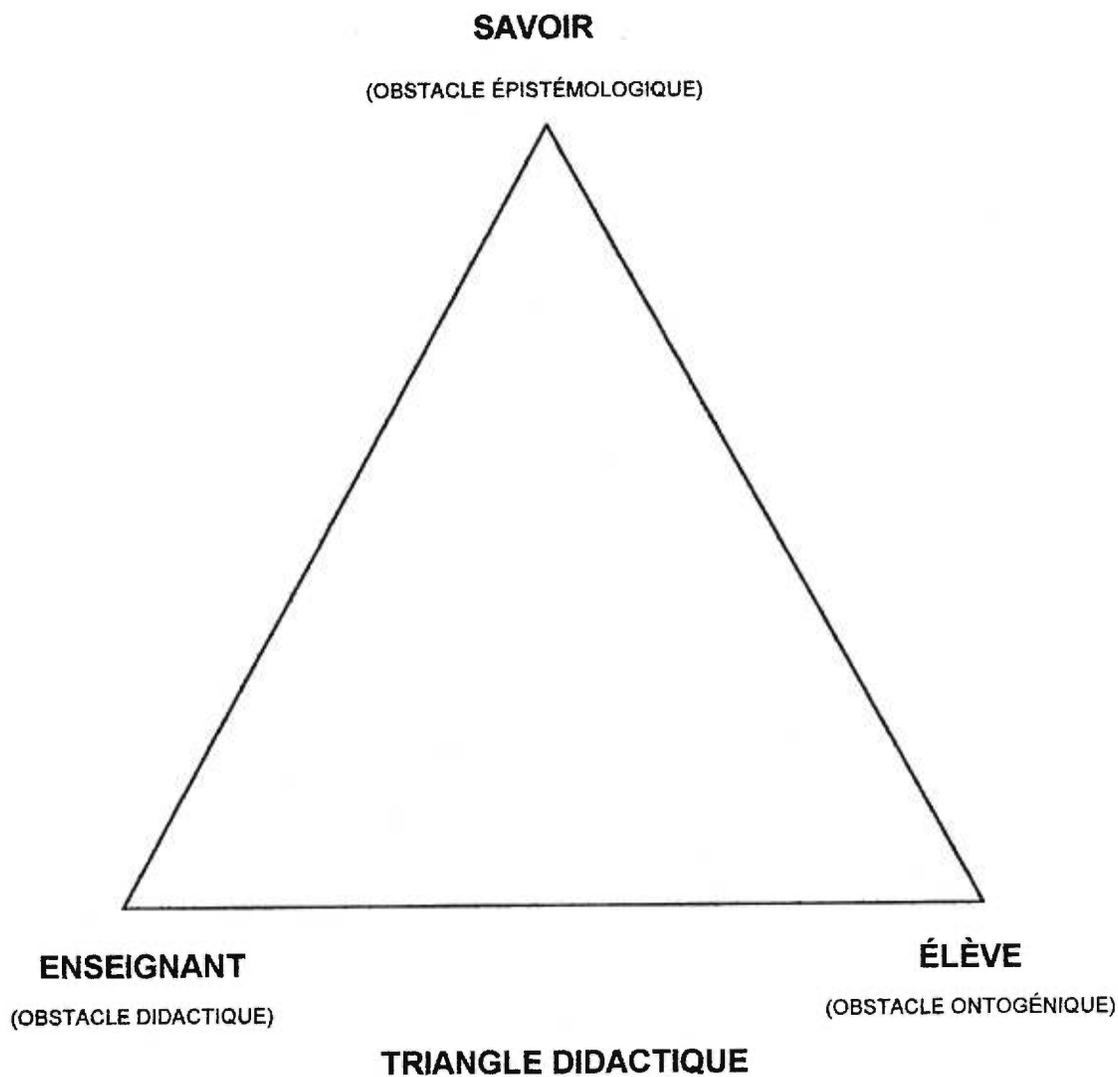


Figure 1

Concernant la relation entre l'élève et le savoir, la didactique, considère l'élève comme un être détenant, avant l'apprentissage, certaines connaissances. L'élève n'est alors pas une «boîte vide» ou une «*tabula rasa*». La didactique constructiviste s'intéresse aux façons dont les élèves arrivent à construire leurs nouvelles connaissances sur la base de leurs conceptions initiales. La

conception et l'analyse d'une *démarche didactique* qui permet aux élèves d'effectuer des apprentissages conceptuels en résolvant des inconsistances entre leurs conceptions est donc un sujet de recherche important en didactique. Cette démarche, qui peut varier selon les apprentissages à effectuer peut, par exemple, comporter les étapes suivantes: l'identification des conceptions des élèves, la formulation de questions qui pourront servir de point de départ à l'élaboration d'activités d'apprentissage, l'animation d'activités, de type situations problèmes ou autres permettant aux élèves d'amorcer un travail cognitif sur leurs conceptions et, finalement, l'évaluation des apprentissages. Les activités proposées permettent aux élèves d'examiner le contexte spécifique dans lequel leur conception peut avoir une certaine utilité. Ces activités permettent, aussi et surtout, d'examiner les inconsistances entre leurs diverses conceptions ou entre leurs conceptions et des concepts scientifiques. La prise de conscience de ces inconsistances peut déclencher des conflits de centrations. Ces conflits aideront l'élève à remettre ses conceptions en question et à les faire évoluer (Thouin, 1997).

Pour ce qui est de la relation entre l'enseignant et le savoir, la didactique s'intéresse à la façon dont l'enseignant interprète et transmet le savoir décrit dans les programmes d'études et les manuels scolaires. Elle s'intéresse aussi à toutes les modifications, appelées des *transpositions didactiques*, que subissent les «savoirs savants» avant de devenir des «savoirs scolaires». Ces transpositions consistent en une sélection et une transformation des savoirs. La sélection reflète par exemple le choix des concepts et l'accent placé sur la théorie ou sur les applications, tandis que la transformation fait intervenir des processus tels que la décontextualisation, la dépersonnalisation, la dogmatisation, la reformulation, la programmation et l'opérationnalisation qui peuvent, à la limite, dénaturer le savoir scientifique et le rendre difficilement intelligible (Chevallard et Joshua, 1991). Legendre (1995, p. 14) attire l'attention

des enseignants sur l'obstacle didactique qui représente une conséquence de la transposition didactique. Selon elle :

La notion d'obstacle, en pédagogie et en didactique, vient souligner l'écart, source de conflits et de ruptures, qui peut exister entre le savoir enseigné et le savoir déjà là et la nécessité de concevoir les objectifs de l'enseignement en relation avec ces obstacles potentiels si l'on veut s'assurer que le savoir enseigné se transforme en savoir appris, en savoir véritablement assimilé par l'élève».

Dans le cas de la relation entre l'enseignant et l'élève, la didactique s'intéresse aux façons dont se vit le rapport au savoir et, par exemple, aux façons dont on intervient auprès de l'élève et dont sont planifiées et aménagées les situations et les activités scolaires. Cela inclut le choix des méthodes d'enseignement, la mesure et l'évaluation des apprentissages. C'est le domaine du *contrat didactique*, explicite ou implicite, entre l'enseignant et ses élèves. L'ensemble des interactions, conscientes et inconscientes, verbales et non verbales, entre une enseignante et ses élèves, au sujet de l'apprentissage, constitue le contrat didactique (Brousseau, 1986). Les savoirs au programme, les rôles de l'enseignante ainsi que les rôles des élèves font partie de ce contrat qui demeure souvent presque totalement implicite. La didactique s'intéresse particulièrement à tout ce qui peut entraîner une rupture du contrat, et aux façons de réduire le nombre de ruptures de contrat. Par exemple, le fait, pour une enseignante de donner trop rapidement la solution de problèmes ou de n'enseigner que les réponses aux questions habituellement posées lors des examens, constitue une rupture du contrat, puisque de telles pratiques finissent à long terme par dévaloriser le rôle de l'élève.

Les relations entre les trois entités du triangle sont étudiées en didactique. Une attention exclusive accordée à la relation entre l'enseignant et le savoir risque

de conduire à une pédagogie encyclopédique peu stimulante; une attention exclusive accordée à la relation entre l'enseignant et l'élève risque de conduire à une pédagogie sociale qui tourne à vide; une attention exclusive accordée à la relation entre l'élève et le savoir risque de conduire à une pédagogie exploratoire qui manque d'encadrement (Thouin, 1997).

7. LE PROGRAMME D'INITIATION AUX SCIENCES PHYSIQUES

Le programme de sciences physiques de deuxième année du secondaire a été élaboré en 1987 en tenant compte des critiques faites au sujet de l'ancien programme. Il est destiné à des élèves de 13 à 14 ans (MEQ, 1987).

Les principaux objectifs généraux de ce programme sont de trois ordres: les attitudes intellectuelles et sociales, les habiletés et les connaissances.

Grâce aux attitudes intellectuelles et sociales, l'élève doit être en mesure :

- de prendre conscience de l'importance des sciences dans la vie de tous les jours;
- d'acquérir progressivement une pensée critique face aux réalisations scientifiques et à leurs utilisations;
- de prendre conscience de l'impact qu'ont les sciences et les techniques sur l'environnement;
- d'acquérir progressivement le sens de l'effort et de la rigueur intellectuelle.

Les habiletés doivent le rendre capable :

- d'utiliser des instruments usuels de laboratoire;
- de maintenir des techniques fondamentales;
- d'appliquer méthodiquement des règles de sécurité en laboratoire et sur le terrain;
- de résoudre des problèmes en appliquant la méthode scientifique.

Quant aux connaissances maîtrisées, elles doivent lui permettre :

- de mieux connaître et comprendre des phénomènes de son environnement physique et certaines propriétés de la matière;
- d'appliquer ses connaissances dans sa vie quotidienne (*Programme d'études*, 1987, p. 4-5).

Ce programme est obligatoire pour tous les élèves de deuxième année secondaire et 100 heures sont nécessaires pour le voir d'après les concepteurs. Les quatre modules qui le constituent sont la météorologie, les roches et minéraux, les mélanges, la chaleur et les effets thermiques.

Le module I est axé sur la présentation des principales caractéristiques de l'atmosphère terrestre, les différentes transformations subies par l'eau; le rôle du vent dans la circulation et les systèmes atmosphériques. L'étude d'instruments permettant de réaliser des prévisions à propos du temps à partir d'observations complète le module.

Le module II couvre les aspects suivants : la distinction entre un minéral et une roche, l'identification et l'usage des minéraux les plus courants à partir de leurs propriétés. À propos des roches, le programme traite de la classification des principales roches en tenant compte de leurs propriétés. Le cycle de formation des roches, l'utilisation des principales roches terminent l'étude des roches.

Les mélanges sont étudiés au module III. La distinction entre un mélange homogène et une solution, la description des caractéristiques d'une solution, l'étude de l'air pur en tant que mélange homogène et celle des procédés adéquats de séparation des constituants d'un mélange hétérogène ou d'une solution. Celle des usages que l'homme fait des mélanges homogènes et hétérogènes fait l'objet de ce module.

Quant au module IV, les principaux points qu'il aborde sont la différenciation entre la chaleur et la température, l'étude de quelques propriétés de la chaleur, la démonstration expérimentale qu'une substance subit des changements de

phase sous l'effet de la chaleur et la description des usages de la chaleur par l'homme dans son environnement.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéresserons à tous les modules car certains aspects de ces différentes parties du programme constituent généralement de grandes causes de difficultés pour la plupart des élèves.

8. LES ERREURS D'APPRENTISSAGE EN MATHÉMATIQUES

Les erreurs font partie de tout processus d'apprentissage. De nombreux travaux décrivent les erreurs d'apprentissage en mathématiques. Parmi eux, rappelons ceux de Costa et Valentin (1986), Gobert, Gorlier, Gouardères, Leboursicot, Perrot et Ragot (1986), Neyret (1986), Ragot (1986). Les erreurs se retrouvent à toutes les étapes de l'enseignement et de l'apprentissage. Guay et Lemay (1994) présentent certains aspects du programme généralement complexes pour l'élève. Milhaud (1980) fait état d'un certain nombre d'erreurs identifiées par des enseignants. Il s'agit d'erreurs telles que la confusion, le manque de logique, la mauvaise interprétation des consignes, l'inachèvement des tâches, etc. Mais certains des termes qu'ils emploient pour décrire ces erreurs renvoient à un modèle traditionnel de l'éducation dans le cadre duquel l'élève qui fait des erreurs risque d'être rapidement considéré comme peu doué pour le travail intellectuel. Quelques-unes des classifications de ce genre sont présentées ci-dessous. C'est dans le domaine des mathématiques que ces classifications sont les plus nombreuses (Bélangier, 1991).

Dès le début du XIX^e siècle, les études portant sur les erreurs considèrent qu'elles résultent des processus mentaux et les classifications réalisées vers 1945, qui se font alors de plus en plus précises, sont fonction des types de raisonnement que les élèves qui sont sujets aux erreurs ne semblent pas maîtriser.

Certaines classifications se réduisent à des catégories générales d'erreurs. La classification de James Henry Smith, qui date de 1916, tirée de «*Les erreurs en arithmétique, un siècle de présomption américaine*», 1981, ne fournit que quelques catégories d'erreurs et des fréquences.

Par la suite, les listes deviendront de plus en plus complètes et incluront aussi des informations relatives au groupe d'âge. Un nouveau type d'erreur en soustraction sera introduit à la même époque, il s'agit de l'emprunt.

En 1917, la liste de Arthur S. Gist présente les pourcentages d'erreurs en soustraction, multiplication et division. Elle constitue une innovation car en plus de toutes les autres informations qu'elle fournit, elle intègre les erreurs liées à l'emprunt, celles dues à la combinaison, à l'omission, à l'inversion et au chiffre placé le plus à gauche

Au fur et à mesure de leur publication, les listes se perfectionnent et elles fournissent des détails de plus en plus précis à propos d'un seul type d'opération. Tel est le cas pour la liste présentée la même année par Staker Moses pour les erreurs en division. C'est donc sur cette répétition dans les travaux de plusieurs auteurs qu'on juge de l'importance de la notion d'erreur et des mesures adéquates pour les combattre.

Holland (1942, cité par Burrows, 1976), décrit plusieurs erreurs qui surviennent dans le cadre d'une division, les erreurs liées au placement des chiffres et celles en rapport avec l'estimation du quotient et celles liées au zéro.

Une étude de Cox (1974) sur les erreurs systématiques dans la division d'algorithmes chez les élèves normaux et chez les handicapés fait référence à trois types d'erreurs : les erreurs constantes, celles dues au hasard et les erreurs dues au manque de concentration

Une classification des erreurs en mathématiques est présentée par Charnay (1986), dans *Rencontres pédagogiques*, et traite des erreurs des élèves en transition du primaire au secondaire. Elle considère quatre grandes catégories :

- une première regroupe les erreurs portant sur la matière.
- une seconde est formée des erreurs de raisonnement, de calcul, de stratégie ou de formulation.
- une troisième compte les erreurs liées au savoir, c'est le cas quand l'élève ignore les aspects théoriques de la notion à appliquer.
- une quatrième catégorie se rapproche un peu plus des erreurs telles qu'étudiées en didactique des sciences. Elle présente toutes les erreurs mais par rapport à chacune d'elles et par rapport aux relations entretenues entre les trois éléments de base du triangle didactique, c'est-à-dire en tenant compte de la transposition didactique, du contrat didactique et de la démarche didactique. Ce sont les erreurs ayant pour origine le développement psychogénétique de l'élève. additives ne puissent être maîtrisées par les enfants qu'à l'adolescence. Les erreurs liées au savoir ou aux conceptions antérieures des élèves se retrouvent dans ce groupe.

De nombreuses classifications des erreurs sont ainsi établies et elles représentent le moteur de l'avancement des connaissances sur les types d'erreur et sur les altérations subies par les processus mentaux dans ces différents cas. Quelques études suggèrent des moyens de lutter contre ces erreurs. Ces différentes productions sont très utiles en ce sens. Leur seul inconvénient tient au fait que les auteurs se penchent seulement sur les mathématiques en négligeant les autres sciences telles la physique considérée plutôt à l'époque comme une matière de second ordre. Aussi, ces typologies sont-elles trop précises et ne peuvent s'appliquer aux autres matières scientifiques.

9. LES ERREURS D'APPRENTISSAGE EN SCIENCES

En sciences, les travaux de Tiberghien et Barboux (1983), Dumas-Carré et Caillot (1987), Lapointe (1988), Resnick (1989) et Tiberghien (1989), pour ne citer que ceux-là, ont été publiés sur les erreurs d'apprentissage, mais il ne semble pas exister, comme en mathématiques, de tradition concernant la classification des erreurs des élèves. Toutefois, le triangle didactique avec ses sommets savoir, enseignant et élève ainsi que les relations entre ces sommets permettent de jeter les bases d'une typologie des erreurs des élèves inspirée d'une typologie générale d'Astolfi (1997) que nous adaptons à l'enseignement des sciences.

Notre expérience et les observations préliminaires effectuées jusqu'à maintenant nous ont montré que plusieurs des difficultés d'apprentissage que rencontrent les élèves dans le cours d'initiation en sciences physiques correspondent à l'une ou l'autre des catégories de cette classification.

9.1 Erreurs liées au savoir

Les erreurs liées au savoir sont les erreurs liées à la terminologie et aux symboles utilisés, les erreurs liées aux difficultés conceptuelles et les erreurs liées aux grands obstacles épistémologiques.

9.1.1 Erreurs liées à la terminologie et aux symboles utilisés

Tout enseignant de sciences a eu l'occasion de constater les erreurs évidentes de ses élèves à leur début en sciences physiques particulièrement. De telles erreurs sont liées au savoir. Tout un trimestre et même l'année scolaire entière leur est souvent nécessaire pour bien maîtriser certains termes scientifiques. Le sens de mots tels sublimation, thermomètre, chaleur, température, masse et poids ou encore le symbole représentant le générateur, la lampe, l'ampoule ou la résistance dans le circuit électrique ne s'acquièrent pas aisément par les

élèves. C'est pourquoi l'enseignant doit y revenir pour s'assurer de leur rétention.

Les sciences physiques représentent une matière nouvelle pour les élèves de deuxième année du secondaire. L'un des objectifs de ce cours est de leur fournir les bases scientifiques adéquates pour leur permettre de répondre à de nombreuses questions sur leur environnement. Ils apprennent, entre autres, à réaliser des manipulations au moyen des instruments couramment utilisés au laboratoire, à maîtriser certaines techniques y relatives (Morin, 1997) et à s'exercer à l'acquisition de la démarche scientifique, comme le prescrivent Cauzinille-Marmèche, Mathieu et Weil-Barais (1983), Paradis (1989) et le manuel de l'UNESCO pour l'enseignement des sciences (1981). Cependant, toute discipline scientifique présentant des concepts et un vocabulaire que l'élève doit maîtriser dans le cadre de son apprentissage, c'est à ce niveau déjà que la plupart des élèves commettent des erreurs. Les noms des composés chimiques tels que chlorure de potassium, carbonate de calcium, pentadichlorobenzène... leur sont très difficiles à prononcer malgré qu'ils aient déjà suivi le cours dans leur classe régulière de physique. L'orthographe des composés chimiques constitue une autre source d'erreur. Ainsi, le potassium, le calcium et le sodium étaient régulièrement débarrassés de leur i ou de leur u dans les rapports de laboratoire.

9.1.2 Erreurs liées aux difficultés conceptuelles

Selon Rumelhard (1986), un concept scientifique est d'abord une dénomination et une définition, autrement dit un nom chargé d'un sens le plus univoque possible. Il remplit une fonction opératoire, une fonction de discrimination ou une fonction de jugement dans l'interprétation de certaines observations ou expériences. Il possède une extension et une compréhension, un domaine et des limites de validité, étroitement dépendant d'une définition nettement fixée. Finalement, il fonctionne toujours en relation avec d'autres concepts techniques

et théoriques car il correspond à un nœud dans un réseau de relations cohérent et organisé et non un élément disposé à côté d'autres par simple juxtaposition.

Vergnaud (1990), pour sa part, présente plutôt une définition pragmatique du concept scientifique. Sa définition fait état de la relation entre objets ou phénomènes lorsqu'on caractérise un invariant. Selon lui, le concept est un triplet comprenant l'ensemble des situations qui lui donnent un sens (la référence), l'ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes (le signifié) et l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (le signifiant).

Astolfi (1994), enfin, définit le concept scientifique en se plaçant du point de vue de l'apprentissage. Selon lui, le concept scientifique est une aide à la résolution de problèmes et à la transformation des préconceptions. Cette définition traite donc du rôle du concept scientifique dans la maîtrise de la discipline.

Selon Astolfi et al. (1997)

...Dans les sciences expérimentales, la construction du concept se progressivement, par une succession au cours de laquelle s'opère le franchissement de certains seuils: observations, interprétations, formulations concernant la situation, rectification, nouvelles observations, nouvelles interprétations, etc.

L'analyse de la construction de concepts par des élèves révèle la complexité de cette opération non seulement en ce qui a trait au nombre d'étapes qu'elle renferme, mais aussi par le temps nécessaire à son application. Elle exige une rigueur d'application de la part de l'enseignant, qui doit choisir un vocabulaire qui corresponde au niveau de l'élève ou, tout simplement, employer des termes qui lui sont familiers pour éviter toute erreur d'interprétation. Il doit accorder du

temps de réflexion à l'élève et utiliser les méthodes de motivation les plus efficaces pour inciter les élèves à remettre en question leurs idées préconçues.

En pratique, les difficultés conceptuelles sont souvent liées à la lecture de textes, principalement ceux du manuel scolaire, qui sont la principale source d'informations au sujet des concepts abordés dans le cours.

Les concepts scientifiques employés représentent souvent une source d'erreurs importante pour les élèves. Des concepts comme évaporation, force, sublimation, énergie électrique, phase ou, encore, volume, masse volumique, poids, rayonnement et convection leur semblent souvent complexes. Il faut dans la mesure du possible, que l'enseignant ait recours à une démarche allant du plus simple au plus complexe pour que l'élève maîtrise les concepts à son propre rythme (Legendre, 1994; Astolfi, 1997). D'autres auteurs recommandent le recours à la schématisation pour faciliter l'apprentissage (Giordan et Martinand, 1986).

Les notions comme la chaleur massique, le zéro absolu, le transfert de chaleur la masse volumique, l'énergie thermique, la convection, la conduction et le rayonnement, le coefficient de dilatation linéaire (Roberge, 1987, 1996) doivent être expliquées à de nombreuses reprises aux élèves.

Malheureusement, plusieurs manuels de sciences présentent des lacunes importantes concernant la construction des concepts par les élèves. Une des principales, souvent mentionnées, est le très grand nombre d'informations qu'ils renferment. Pour quelqu'un qui aborde une matière pour la première fois, l'apprentissage d'un si grand nombre de notions nouvelles est de nature à constituer une tâche plutôt difficile d'autant plus qu'à certains moments, il doit l'utiliser sans encadrement particulier de l'enseignant et souvent sans l'aide d'un dictionnaire de termes scientifiques. De plus, les informations retrouvées dans un manuel de sciences donné ont souvent des statuts différents: notions-clés, précisions qui les qualifient, définitions et exemples. L'élève se retrouve ainsi

face à un ensemble d'informations dont il est incapable de déterminer l'importance relative dans l'ensemble. La situation des concepts est de ce fait très particulière: ce sont les éléments de base du savoir scientifique mais leur présentation dans le manuel ne l'indique pas, ils sont souvent enfouis dans un grand nombre d'éléments factuels.

Comme le mentionne Gentilhomme (1982),

Lire un texte scientifique ne serait-ce pas, pour large part, restaurer un certain nombre d'informations omises, en quelque sorte, boucher des trous dans le texte, établir des liens avec d'autres textes et... ne pas perdre de vue le sens des réalités? Ou encore, en termes plus choisis, procéder à des interpolations dans un microsystème lacunaire en l'immergeant dans le système intertextuel et dans le préconstruit culturel?

En ce sens, on pourrait suggérer, par exemple, que les responsables de l'élaboration des manuels et les enseignants mettent à profit la recommandation de Loffler-Laurian (1983) en vue de «construire l'enseignement scientifique en tenant compte des types de situations, des types de discours, des types d'énonciation (par exemple de définitions) propres à chaque type de discours». Puisque les textes seraient à sa portée, l'élève serait dès lors en mesure de se tourner vers le véritable objectif de sa lecture: celle des concepts scientifiques.

9.1.3 Erreurs liées aux grands obstacles épistémologiques

Les obstacles épistémologiques sont souvent confondus avec des conceptions fausses mais différent d'elles par leur structure imprécise (Astolfi, 1997). Ces erreurs sont liées au savoir ou encore à la démarche didactique. Les plus fréquents sont l'obstacle animiste (Bachelard, 1967) auquel l'élève a recours pour expliquer un phénomène incompréhensible à son sens. Il a tendance à considérer que les objets sont dotés d'une certaine force, d'une forme de vie

(Toussaint, 1996), du fait qu'il n'en comprend pas le mécanisme ou que leur explication lui échappe. Ainsi, l'élève dira que les arbres courent dans le sens inverse de celui du déplacement du véhicule dans lequel il se trouve sans comprendre que c'est la vitesse de déplacement de la voiture qui lui donne l'illusion de cette mobilité d'êtres généralement inanimés, que le soleil et la lune se couchent comme le font la majorité des animaux.

Il arrive aussi que l'élève explique l'action d'un produit tel un détergent ou un médicament à l'aide de mots non scientifiques ou encore avec des mots scientifiques dont il ignore le sens et le rayon d'action. L'élève dont la mère souffre d'hypertension artérielle aura tendance à dire que l'état de sa mère s'améliorera bientôt puisque son médecin lui a prescrit de nombreux médicaments dont un diurétique très efficace dans le traitement de ce mal comme si le diurétique à lui seul avait le pouvoir de soulager la malade. Un tel comportement traduit la présence d'une autre forme d'obstacle nommé obstacle verbal (Bachelard, 1967). Par contre, l'emploi d'une forme de classification pour présenter un fait incompris relève de l'obstacle classificatif (Thouin, 1997).

Le fait d'expliquer un phénomène par une seule des causes qui pourraient l'avoir produit est connu sous le nom d'obstacle d'univocité des relations. (Thouin, 1997). L'élève ayant étudié le thermomètre penserait que la quantité de chaleur absorbée par une substance dépend seulement de la variation de température alors que d'autres facteurs tels la masse et la chaleur massique de la substance jouent un grand rôle dans l'obtention d'une telle quantité.

Il faut mentionner aussi l'obstacle tautologique (Thouin, 1997) correspondant à l'explication d'un phénomène en affirmant que cela se passe ainsi parce que c'est normal que cela soit ainsi. Cela revient en d'autres termes, pour l'élève à réduire le phénomène physique à son niveau en ignorant son explication scientifique et ses conséquences. Le recours à une volonté subjective pour présenter un fait est connu sous le nom d'obstacle subjectiviste

(Bachelard, 1967). C'est le cas quand certains élèves répètent que les animaux d'une espèce donnée vivent dans telle région du globe seulement à cause de la température régnant dans un tel endroit en écartant toutes les autres raisons vitales pouvant expliquer leur présence dans un tel environnement.

Quant à l'obstacle anthropomorphique, il consiste à se baser sur une supposition plaçant, par exemple, les plantes et les animaux au même niveau que l'homme dans le cadre de la présentation d'un phénomène. Cela revient à donner une forme humaine. Ces obstacles peuvent être spontanés c'est-à-dire être observés chez l'élève sans qu'une cause extérieure ne les ait provoqués. Ils peuvent aussi avoir été induits par des enseignements antérieurs (Charnay, 1986; Toussaint, 1996). Certains ouvrages font allusion aux «faces souriantes des électrons et des ions» peut être dans le but de faciliter l'apprentissage aux débutants en sciences mais de tels abus de langage sont susceptibles de créer des obstacles chez l'élève.

L'explication d'un phénomène par suite de son analyse incomplète porte le nom d'obstacle d'unicité de point de vue. Par contre, la représentation de ce même phénomène au moyen d'une substance est plutôt décrit comme l'obstacle substantialiste (Bachelard, 1967). Cela revient encore à «projeter les propriétés d'une substance dans des objets ou des phénomènes qui, souvent sont des entités abstraites» (Toussaint, 1996). Les élèves disent souvent que la chaleur est une substance. Certains ouvrages présentent souvent le courant électrique comme un fluide. Cette analogie entraînera, par la suite, des erreurs de compréhension face à des phénomènes physiques plus complexes.

Les obstacles épistémologiques sont généralement le signe que l'élève traverse des difficultés (Brousseau, 1998). Il revient alors à l'enseignant, en ayant recours à des situations problèmes adéquates, d'aider l'élève à les surmonter progressivement. Un autre moyen de permettre à l'élève de vaincre les

obstacles consiste à l'entraîner à des travaux issus de situations problèmes lui permettant d'améliorer ses représentations.

Certaines formes d'obstacles épistémologiques sont plus courantes que d'autres. Les obstacles verbal, d'unicité de relations, anthropomorphique et substantialiste semblent particulièrement courants chez les élèves du début du secondaire. Par exemple :

Obstacle verbal: certains élèves utilisent le mot catalyseur pour faire référence à la substance responsable de l'arrêt d'une réaction. Or, le catalyseur modifie la vitesse d'une réaction sans l'arrêter.

Obstacle anthropomorphique: certains élèves parlent parfois de la «marche» de l'électron, au lieu de son «déplacement».

Obstacle substantialiste: certains élèves confondent un phénomène avec une substance.

Les obstacles épistémologiques apparaissent donc sous des formes variables. Ils empêchent souvent aux élèves de maîtriser de nombreux concepts en sciences physiques et représentent probablement les causes de certaines erreurs. Il faut noter aussi que les sciences physiques, comme tout domaine de la connaissance, se construisent à partir de concepts (Richard, 1990). Ces derniers forment ainsi la structure de la discipline. Certains concepts sont propres aux sciences expérimentales, mais d'autres viennent d'autres disciplines telles que les mathématiques. Les concepts sont, selon Astolfi (1992) des «outils intellectuels destinés à résoudre une famille de problèmes, ceux qui caractérisent une discipline». Le concept scientifique représente ainsi un moyen de comprendre et d'interpréter diverses situations dans un domaine donné.

Mais, un concept n'est pas isolé au sein d'un savoir, il se situe dans un champ conceptuel, qui représente la structure particulière de ce savoir. Plus

précisément, le champ conceptuel est un «ensemble de situations dont le traitement implique des schèmes, concepts et théorèmes en étroite connexion, ainsi que les représentations langagières et symboliques susceptibles d'être utilisées pour les représenter» (Vergnaud, 1993, 1994). Raynald et Rieunier (1997) résument ce point de vue en assimilant le champ conceptuel à un «cadre assimilateur de connaissances».

Toutefois, sur le plan didactique, la notion de champ conceptuel explique mal certaines difficultés des élèves, telles que les difficultés en rapport avec la structure épistémologique de la notion à l'étude (Brousseau, 1998; Giordan 1994; Bachelard, 1938). La notion de trame conceptuelle (Astolfi, 1989), qui peut être conçue comme un champ conceptuel hiérarchisé, à des fins d'enseignement, permet de clarifier ces difficultés. En effet, elle aide l'enseignant à créer des stratégies d'apprentissage prenant en compte le caractère hiérarchique des concepts et à orienter l'apprentissage dans le même sens. Elle constitue aussi une grille de référence pour les enseignants et un instrument nécessaire à l'établissement de liens entre différents savoirs en vue d'une connaissance approfondie des concepts par les élèves.

Il convient de mettre en évidence également, le fait que la constitution même des concepts est parfois porteuse de germes d'obstacles épistémologiques. Le concept de chaleur, par exemple, a été historiquement construit à partir de phénomènes et d'observations qui relevaient autant, sinon plus, de la température, au sens physique du terme, que de la chaleur comme telle. Ces germes se traduisent par des erreurs dans la façon dont ils sont interprétés. C'est donc à juste titre que Brousseau (1998) parlant des obstacles d'origine épistémologique disait: «Les obstacles sont ceux auxquels on ne peut ni ne doit échapper du fait de leur rôle constitutif dans la connaissance visée. On peut les retrouver dans l'histoire des concepts eux-mêmes...» (p. 125).

9.2 Erreur liée à la relation élève-savoir

Les erreurs liées à la relation élève-savoir sont les erreurs liées à des conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques, les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues et les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles.

9.2.1 *Erreurs liées à des conflits de centrations résultant de conceptions non scientifiques*

Quand un enseignant pose une question à un élève à propos d'un phénomène qui n'a pas encore été abordé en classe, l'élève lui fournit une réponse qu'il construit à partir de ses conceptions préalables à propos du sujet de la question. Les études de Giordan (1993) et Vuilleumier (1983) ont montré que les conceptions d'un élève sont ses outils pour comprendre la réalité. En d'autres termes, ce sont ses points de départ pour décoder la réalité et c'est par eux que débute sa réflexion sur le concept scientifique. Mais les conceptions des élèves sont généralement difficiles à améliorer. Elles résistent (Astolfi, 1989). D'autres disent que cette persistance des conceptions s'explique par leur structure particulière. Giordan (1994) présente cette structure comme «une mosaïque d'informations plus ou moins structurées, supportées par des paradigmes, c'est-à-dire comportant des règles d'emploi, des dimensions, une organisation cognitive et même des modes».

Ces conceptions ne surgissent pas inopinément. Giordan (1994) rapporte que l'élaboration des conceptions suit deux étapes: celle des conceptions immédiates et celle des conceptions régulées. Les conceptions passent d'abord par l'étape des représentations immédiates. Il peut s'agir de la relation d'un fait, d'analogies, de la constatation d'un fait difficile à expliquer, à la vérification des conditions de répétition ou de suppression d'un phénomène. Elles passent ensuite par l'étape de représentations régulées. À ce niveau, l'élève réalise la

généralisation, la réflexion réorganisatrice. Il effectue finalement un retour sur la représentation qu'il a d'un phénomène et sur le phénomène lui-même pour en trouver des explications. On peut donc en déduire que l'élaboration de la conception est une opération nécessitant le recours à un certain nombre d'opérations mentales, telles que des analogies ou des généralisations, dont la réussite requiert le suivi de certaines règles.

Par ailleurs, les conceptions se construisent en subissant certaines modifications. C'est d'ailleurs au fur et à mesure de ces changements qu'elles se constituent. Les principaux facteurs de ce changement sont l'environnement familial, la société, le milieu scolaire. Paccaud (1991) explique ces origines des conceptions en ces termes: «les conceptions sont les traces de notre histoire familiale, socioculturelle, scolaire, c'est ce qui nous reste... lorsqu'on a tout oublié».

Par ailleurs, les conceptions se construisent en subissant certaines modifications. C'est d'ailleurs au fur et à mesure de ces changements qu'elles se constituent. Les principaux facteurs de ce changement sont l'environnement familial, la société, le milieu scolaire. Paccaud (1991) explique ces origines des conceptions en ces termes: «les conceptions sont les traces de notre histoire familiale, socioculturelle, scolaire, c'est ce qui nous reste... lorsqu'on a tout oublié».

Il semble donc que les erreurs des élèves liées à leurs conceptions peuvent survenir lors des différentes étapes de l'élaboration des conceptions. Elles peuvent aussi s'expliquer par les modifications qui suivent leur contact avec l'environnement social de l'élève.

À l'instar de Giordan et de Vecchi (1987) et Giordan (1994), nous pensons qu'il ne s'agit pas de détruire les conceptions initiales des élèves mais de les utiliser pour mieux comprendre tous les aspects de la démarche d'apprentissage des élèves. Les informations recueillies permettent alors de mieux connaître les

erreurs qu'y s'y sont glissées. Elles servent aussi de point de départ aussi bien pour améliorer les conceptions que pour aider les élèves à surmonter les défauts de leurs conceptions qui causent des erreurs.

Ainsi, il existe un autre type d'erreur issu des préconceptions des élèves à propos d'une notion qui sera étudiée ultérieurement (Toussaint, 1996). Parfois, ces conceptions sont erronées. Et comme généralement elles sont résistantes, elles peuvent réapparaître alors que l'enseignant pense que la question est résolue. Il revient alors à l'enseignant de faire évoluer ces conceptions vers d'autres conceptions plus scientifiques.

Certains élèves confondent état et phase. Ils feront souvent allusion à «changement d'état» (Quessy et Schepper, 1987; Roberge, 1987) pour expliquer par exemple le passage de la glace en eau (liquide) au lieu d'employer l'expression adéquate «changement de phase». Cet abus de langage est dû au fait qu'ils oublient souvent que la phase est l'aspect que présente une substance et que cette dernière peut être soit solide, soit liquide, soit gazeuse tandis que l'état est généralement fonction d'une élévation de température. La phase est alors utilisée pour désigner chacune des parties homogènes d'un ensemble hétérogène.

Ils confondent aussi fusion et dissolution. Selon eux, fusion et dissolution sont synonymes et on peut les employer l'un en lieu et place de l'autre. Ils emploient donc parfois une formulation telle que «le sel fond dans l'eau» en oubliant que toute fusion nécessite la présence de chaleur alors que la dissolution se réalise seulement au moyen de l'eau.

Un dernier cas est celui de l'évaporation et de l'ébullition. Selon la plupart des élèves, évaporation et ébullition sont équivalents, ce qui est faux, parce que si l'eau s'évapore à la température ambiante, le phénomène d'ébullition ne s'observe que dans l'eau portée à la température de 100° C.

9.2.2 Erreurs liées aux écarts aux démarches attendues

Par ailleurs, chaque élève raisonne de façon différente pour aboutir à la solution. Ce procédé peut-être source d'erreurs aussi. Souvent, c'est l'originalité de la solution par rapport à la démarche traditionnelle qui est qualifiée d'erronée car certaines erreurs de raisonnement s'y sont glissées, sans toutefois l'empêcher d'obtenir le résultat attendu. Il serait peut-être bien que le professeur s'efforce de revenir sur certains cheminements particuliers des élèves en salle de classe afin d'en rectifier les erreurs et d'en aplanir les difficultés. Cela représente d'ailleurs l'un des meilleurs moyens d'encadrer efficacement un élève.

On demande par exemple à un élève de tracer la courbe des changements de phase d'une substance X, de donner un titre au graphique réalisé et d'identifier par un «F» le palier de fusion après avoir tracé la courbe, les axes du temps et de la température.

Généralement, la méthode suggérée consiste à tracer les axes, à chercher les différents points, à les relier et à identifier le palier de fusion (Quessy et Schepper, 1987; Roberge, 1987). Cependant, il arrive que l'élève se contente de définir le palier de fusion comme un «moment de la fusion». Cette réponse incomplète laisse entendre qu'un aspect important du thème lui échappe.

9.2.3 Erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles

Les erreurs sont quelquefois liées au fait que la solution du problème passe par le recours à des opérations mentales complexes (Astolfi, 1997). Il peut arriver également qu'à première lecture, le problème paraisse simple alors que certaines données indispensables pour effectuer les opérations manquent, ce qui complique encore plus la situation. C'est le cas pour l'addition et la soustraction en mathématiques, par exemple. En effet, la notion des champs conceptuels montre qu'il y a plusieurs façons de procéder pour effectuer une

addition ou une soustraction en tenant compte des données disponibles. Ainsi, le fait de se confiner à la méthode traditionnelle empêche de parvenir à la solution. Dans des cas pareils, l'élève ignore qu'il faut parfois utiliser des artifices de calculs adaptés à l'addition ou à la soustraction. Il se peut aussi qu'il soit incapable de le faire. Mais, étant donné que les artifices ne sont que des raisonnements dépendant de la maîtrise de l'addition et de la soustraction, il s'ensuit que l'élève incapable de réaliser ces opérations est tout simplement celui qui n'avait pas surmonté les obstacles préalables dans les notions d'addition et de soustraction devant lui servir par la suite de pré-requis. Il serait donc important que l'enseignant trouve des situations didactiques permettant à l'élève de s'exercer à établir la nuance entre deux ou plusieurs opérations semblables. Cela pourrait se compliquer, par la recherche de mots clés entre deux situations semblables suivies d'une discussion guidée sur les solutions possibles à chaque exercice ayant fait l'objet d'études.

La résolution de problèmes est un aspect fondamental de l'apprentissage des sciences physiques. Pour les activités de résolution de problèmes dont la solution repose sur l'expérimentation, Dumas-Carré et Goffard (1997) recommandent d'enseigner aux élèves une démarche en sept étapes: problématisation, clarification du but, modélisation, émission d'hypothèses, établissement du plan d'expériences et exécution en contrôlant la méthodologie, analyse du résultat et confrontation aux hypothèses, proposition de questions plus complexes. Pour les activités de résolution de problèmes plus théoriques, de type exercices, Dumas-Carré, Goffard et Pérez (1992) proposent les étapes suivantes: élaboration et explicitation des méthodes de résolution avant de débiter le traitement, établissement d'une méthode de résolution dans lequel les détails du raisonnement sont explicités, analyse des résultats.

Malgré l'enseignement de ces étapes, les difficultés des élèves dans la résolution de tous les types de problèmes sont nombreuses. Plus importantes au fur et à mesure que les élèves se rapprochent de la fin du secondaire, elles

se manifestent toutefois dès les premiers niveaux, et particulièrement dans le cadre du cours d'Initiation aux sciences physiques. En ce sens, il ne suffit pas aux élèves de connaître des étapes de travail. Il faut aussi qu'ils sachent où trouver les données, comment les utiliser et comment les transformer si nécessaire.

On demande par exemple aux élèves de résoudre des problèmes portant sur la masse volumique dans lesquels la formule $P = m/v$ ($P =$ masse volumique; $m =$ masse et $v =$ volume) doit être appliquée. On constate que certains élèves sont sujets aux erreurs aussitôt que les données ne sont pas présentées de la façon la plus simple possible (exemple: la masse est donnée en kilogrammes au lieu d'être donnée en grammes).

Étant donné que certains concepts exigent un plus grand effort d'abstraction, c'est-à-dire certaines opérations mentales plus complexes, il en résulte parfois des difficultés et des erreurs de raisonnement pour l'élève. Il arrive que deux problèmes soient en apparence semblables mais que l'un d'eux possède un degré de difficulté plus élevé que l'autre, du fait que sa solution exige une opération préalable à la solution définitive. Les énoncés des problèmes fournissent de multiples informations et il arrive souvent que l'élève en laisse de côté, soit parce qu'il ne sait pas comment les utiliser, soit parce qu'il ne perçoit pas leur importance.

En sciences physiques, la plupart des exercices et des problèmes nécessitent l'emploi d'algorithmes arithmétiques ou mathématiques. L'élève qui a des difficultés en mathématiques est donc sujet aux erreurs liées aux opérations intellectuelles impliquées

9.3 Erreurs liées à l'enseignant

Les erreurs liées à l'enseignant sont principalement les erreurs liées aux obstacles didactiques.

9.3.1 Erreurs liées aux obstacles didactiques

Un enseignant utilise deux outils essentiels: le programme d'études et le guide d'enseignement du manuel scolaire choisi par sa commission scolaire. Le programme présente les objectifs d'apprentissage et les contenus disciplinaires associés à chacun d'eux. Le guide d'enseignement présente le cadre théorique en rapport avec les concepts qui se trouvent dans le manuel de l'élève, ainsi que la démarche pédagogique suggérée.

L'enseignant est toutefois libre de choisir la démarche et de définir les approches qu'il préfère. En effet, comme le mentionne le guide d'enseignement d'un manuel couramment utilisé: «Bien qu'une façon d'aborder l'étude du cours de sciences physiques soit suggérée, chaque enseignant, dans le contexte de ses classes, est la personne la plus apte à juger l'a propos de telle méthode plutôt que d'une autre.» (Roberge, 1987).

Ainsi, l'enseignant puise généralement ses exemples dans le guide d'enseignement qu'il utilise mais peut également s'inspirer d'autres références et concevoir des exemples en fonction du contexte. Par exemple, quand un élève ne comprend pas, il peut changer de stratégie et choisir un exemple ou une analogie plus simple de son cru.

Cependant, dans un cas comme dans l'autre, les exemples ou analogies présentés aux élèves peuvent comporter des lacunes et devenir des obstacles didactiques.

Les exemples et analogies tirées du guide de l'enseignement sont généralement classiques et souvent utilisés, mais peuvent quand même faire obstacle dans certains cas. Par exemple, l'analogie de l'eau qui coule dans un tuyau, peut aider à comprendre les notions d'intensité, de différence de potentiel et de puissance d'un courant électrique, mais peut nuire à la compréhension des phénomènes électromagnétiques. Ils peuvent ainsi entraîner l'emploi par l'élève

d'un concept en lieu et place d'un autre qui n'a pas tout à fait la même signification dans un autre contexte et être source de confusion.

Les exemples et analogies choisis ou conçus par l'enseignant présentent parfois les mêmes lacunes que ceux qui sont tirés du guide de l'enseignement. De plus, ces exemples et analogies sont souvent utilisés dans une situation imprévue, parfois presque par réflexe, à partir d'éléments puisés dans le bagage de connaissances ou dans l'expérience de l'enseignant. Le risque de lacunes ou d'imprécision est alors plus grand.

L'élève se retrouve alors avec une notion, une définition ou un concept dont il saisit seulement quelques aspects et cela, seulement dans un contexte donné. Cela échappe souvent à l'enseignant qui doit répondre à de nombreuses questions, superviser de nombreuses activités et, surtout, s'assurer de couvrir tout le programme d'études. L'explication fournie restreint ainsi le champ de vision de l'élève ou sa possibilité d'étendre une explication à un autre contexte.

Assez souvent, le professeur observe chez les élèves des erreurs en rapport avec des notions mal enseignées durant les années antérieures (Brousseau, 1998). Il peut s'agir, par exemple, d'erreurs qui découlent d'un choix peu judicieux d'analogies, d'exemples ou d'exercices pour illustrer des notions ou des concepts. On parle dans ce cas d'obstacle didactique. Ces erreurs risquent de resurgir tant que l'enseignant n'offre pas à l'élève la possibilité d'aborder les mêmes notions et concepts de façon différente.

Certains élèves confondent parfois chaleur et température, parce que leur enseignant utilise parfois ces deux mots indifféremment, ce qui est alors une difficulté supplémentaire introduite par l'enseignement.

9.4 Erreur liée à la relation enseignant-savoir

Les erreurs liées à la relation enseignant-savoir sont les erreurs liées à la rédaction et à la compréhension des consignes et les erreurs liées aux transferts de techniques.

9.4.1 Erreurs liées à la rédaction et compréhension des consignes

Ce sont celles ayant trait à la compréhension des consignes données dans le cadre d'exercices à résoudre. Souvent, les élèves n'arrivent pas à résoudre un problème à la satisfaction du professeur, pour la simple raison qu'ils n'ont pas compris ce qui leur a été demandé. Il se peut que l'élève ne sache pas s'il doit donner une réponse brève ou élaborée ou encore que le sens de certains verbes employés dans l'énoncé lui échappe ou que ce même mot soit employé dans plusieurs disciplines. Or, quand on sait que la première règle concernant l'élaboration d'un item d'examen insiste sur l'importance de la «clarté de l'énoncé» (Morissette, 1984), on comprend bien dans quel trouble doit être plongé un élève face à une consigne ne décrivant pas avec précision la tâche requise. On comprend aisément aussi qu'une telle situation ne peut qu'être propice à mettre l'élève dans une situation dans laquelle il sera confronté à des difficultés susceptibles d'être à l'origine d'erreurs telles celles liées à la relation entre l'enseignant et le savoir.

Il est fréquent que les élèves disent, face à un problème, que la donnée est incomplète alors que tous les éléments sont bien présents. Par exemple, dans le cas d'une représentation graphique de changement de phase, il n'est pas rare d'entendre des élèves se plaindre qu'il manque certaines données par rapport à la température ou par rapport au temps alors que toutes les informations sont consignées dans un tableau.

9.4.2 Erreurs liées aux transferts de techniques

Une autre source d'erreur se retrouve dans les concepts mathématiques utilisés en sciences physiques. Si ceux-ci sont relativement simples dans les niveaux inférieurs, ils ont tendance à se complexifier au secondaire. L'enseignant se voit obligé d'encourager certains élèves à réaliser beaucoup plus d'exercices afin que l'emploi de ces concepts devienne plus facile. Encore une fois, les conceptions des élèves, préalables au thème de la leçon, sont souvent à l'origine de sérieuses erreurs. Et ces conceptions sont d'autant plus résistantes qu'elles sont valables dans des contextes différents. L'enseignant doit le plus possible éviter d'envisager l'aspect négatif de ces représentations et travailler plutôt à leur évolution.

Les mathématiques sont le langage principal en sciences physiques (Joshua et Dupin, 1993). Ainsi, les calculs de la masse volumique et de la chaleur massique font aussi appel aux opérations mathématiques. Le cas de la chaleur massique est très intéressant car il s'exprime par la relation algébrique suivante :

$$C = Q/(m \times Dt) \text{ et } Q = m \times C \times Dt$$

où Q est la chaleur, m, la masse de l'objet en présence et Dt, la variation de température.

De telles équations sont difficiles à manipuler par bien des élèves.

Les sciences physiques représentent ainsi une discipline dont l'apprentissage requiert entre autres la maîtrise de certaines techniques mathématiques par l'élève. Ce dernier doit être en mesure d'utiliser dans une matière donnée des notions apprises dans une autre discipline. Ce procédé nommé transfert d'apprentissage fait l'objet d'un grand nombre de travaux. Tardif et Meirieu (1996) présentent le transfert d'apprentissage comme l'adaptation que subit une connaissance acquise dans une situation donnée pour être applicable à une autre situation. Ils précisent qu'il importe que cette application à la situation

nouvelle soit correcte dans toutes les facettes de cette situation et que le nouveau modèle obtenu soit utilisable. Presseau (1998) élargit un peu cette définition en affirmant que «le transfert se produit lorsque les connaissances construites dans un contexte particulier sont reprises dans un nouveau contexte, que ce soit pour acquérir de nouvelles connaissances ou accomplir de nouvelles tâches».

Tardif (1999) présente un modèle de transfert des apprentissages en sept étapes:

- 1) l'encodage des apprentissages de la tâche source, pendant laquelle l'utilisateur développe la connaissance ou de la compétence qui doit être réutilisée dans une autre situation;
- 2) la représentation de la tâche cible, pendant laquelle l'utilisateur élabore le modèle mental à utiliser pour résoudre le problème qui se présente;
- 3) l'accès aux connaissances et aux compétences en mémoire à long terme, pendant laquelle l'utilisateur identifie si la situation qui se présente est une véritable situation de transfert et élabore un modèle mental de transfert;
- 4) la mise en correspondance des éléments de la tâche cible et de la tâche source, pendant laquelle l'utilisateur recherche des aspects communs et des aspects différents entre la tâche source et la tâche cible;
- 5) l'adaptation des éléments non correspondants, pendant laquelle l'utilisateur, adapte (et parfois rejette) son modèle mental;
- 6) l'évaluation de la validité de la mise en correspondance, pendant laquelle l'utilisateur s'interroge sur la possibilité d'utiliser le modèle mental provisoire;
- 7) la génération de nouveaux apprentissages, dans la mesure où les situations de transfert des apprentissages sont réussies.

Tardif signale l'éventualité de l'apparition d'erreurs en rapport avec chacune des étapes.

Le transfert des apprentissages nécessite, en plus de l'encadrement adéquat que doit fournir l'enseignant, la présence de certaines qualités chez l'élève. Il faut que l'élève soit motivé à transférer des apprentissages, il doit être capable de trouver les connaissances et compétences nécessaires au besoin et il doit être en mesure de réaliser la contextualisation initiale de ses apprentissages. Une tâche aussi exigeante n'est donc pas facile à réaliser et il arrive souvent que le transfert des apprentissages ne réussisse pas dans certaines des étapes ou dans toutes les étapes.

Le transfert a été, à de nombreuses reprises, au centre de débats. Plusieurs auteurs, dont Richard (1990), Batisse (1996), Mendelsohn (1996), Pea (1987), Lave (1977), Bassok et Holyoak (1989), Bastien (1987) et Rey (1996) ont montré toutes les difficultés qu'il peut poser. Plusieurs de ces auteurs estiment que certains transferts sont possibles, mais seulement à certaines conditions, dont une des principales est que la technique de transfert soit explicitement enseignée à l'élève. En effet, le transfert est un processus exigeant en regard de toutes les compétences et connaissances que doit maîtriser l'élève pour le réaliser avec succès. Il nécessite également la vigilance de l'enseignant et un encadrement approprié de l'élève par l'enseignant.

9.5 Erreurs liées à l'élève

Les erreurs liées à l'élève sont principalement les erreurs liées aux caractéristiques psychologiques de l'élève et les erreurs liées aux obstacles ontogéniques.

9.5.1 Erreurs liées aux caractéristiques psychologiques de l'élève

Il convient de mentionner aussi les erreurs directement en rapport avec l'élève. Elles portent généralement sur les caractéristiques psychologiques de l'élève. Ces erreurs ne sont pas directement en rapport avec l'acquisition du savoir mais influent sur ce processus. Ce sont, par exemple, l'effroi que manifestent certains élèves au laboratoire, à la vue de certaines bestioles ou d'objets techniques (Thouin, 1997). Il revient au psychologue attaché à l'école de traiter ces formes de peurs qui peuvent trouver leur origine dans la petite enfance de l'élève. Mais dans la majorité des cas, elles sont sans fondement et on peut y remédier.

D'autres élèves refusent d'apprendre en mathématiques car selon eux, cette discipline est trop compliquée, ce qui sous-entend qu'ils pensent ne pas détenir l'intelligence nécessaire pour réussir ces cours (Blouin, 1986; Larochelle et Désautels, 1989, 1992; Toussaint, 1996). D'autres en ont tout simplement peur parce qu'ils redoutent les longues heures à consacrer à la résolution des exercices. Un travail de motivation soutenu de l'enseignant pourrait représenter la solution ici. On ne peut passer sous silence non plus les stéréotypes sexistes susceptibles de porter certains élèves à croire que les sciences ne sont comprises que par les gens du sexe fort et représentent de ce fait leur chasse gardée. Le rôle de l'enseignant consiste à aider les élèves à se débarrasser de ces fausses conceptions. Il veillera aussi au fait que dans la même classe il puisse y avoir de nombreuses confessions religieuses différentes dont certaines peuvent véhiculer des dogmes allant à l'encontre des théories scientifiques contemporaines (Thouin, 1997). Une telle situation est susceptible de provoquer des rejets de la matière à l'étude ou d'engendrer des obstacles difficilement surmontables.

Assez souvent, les erreurs des élèves tiennent d'abord à un manque de motivation qui se reflète dans le peu de temps qu'ils consacrent à l'étude des sciences.

9.5.2 Les erreurs liées aux obstacles ontogéniques

Les erreurs de cette catégorie sont directement en rapport avec l'élève. L'obstacle proviendrait des limitations de l'élève et de ses capacités métacognitives. L'élève est ainsi incapable de réaliser des opérations que tout autre élève de son âge effectue sans difficulté.

9.6 Erreurs liées à la relation enseignant - élève

Le contrat didactique est l'ensemble des démarches d'enseignement et d'apprentissage dont le résultat est d'amener l'élève à maîtriser le savoir (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997 ; Danvers, 1992). Toussaint (1996) définit cette relation : «l'ensemble des comportements de l'enseignant qui sont attendus par les élèves et réciproquement, l'ensemble des comportements des élèves qu'attend l'enseignant». Ces deux définitions réfèrent à l'analyse du rapport élève-enseignant. Dans certains cas, cette relation se réalise dans des conditions idéales et dans d'autres, non. C'est à ce moment là qu'on peut constater les anomalies de la relation. Ces anomalies se manifestent, en général, par les erreurs chez les élèves. Elles sont liées aux états de surcharge cognitive ou au décodage de la coutume didactique (Astolfi, 1997).

9.6.1 Erreurs liées aux états de surcharge cognitive

La mémoire régit une grande partie de nos activités, qu'elles soient scolaires, professionnelles ou de loisirs. Selon Lieury (1990, 1992, 1993), Arnaud-Castiglioni, Pancrazi-Boyer, Michel et Combet (1995), ainsi que Reason (1993), pour ne citer que ceux-là, la mémoire peut être conçue comme un ensemble de systèmes qui permettent le codage, le stockage et la récupération de l'information. En ce sens, la mémoire est une fonction fondamentale du cerveau et un élément de base dans la construction des connaissances. En effet, selon Delannoy (1994) le rôle de la mémoire dans l'établissement de relations entre

les connaissances anciennes et les connaissances récentes est bien établi. Les études de Badet (1989), Lieury (1989) et Chauchard (1970) ont montré que l'élève parvient à comprendre le sens de certains mots déjà rencontrés grâce à sa mémoire. En d'autres termes, c'est parce qu'il dispose dans sa mémoire de certains indices, c'est-à-dire, certains contenus par rapport à un mot, qu'il parvient à mobiliser ses connaissances sur ce mot et à le classer dans son cerveau.

Par ailleurs, on distingue généralement la mémoire de travail et la mémoire à long terme. La mémoire de travail se caractérise par une capacité limitée de stockage et un oubli rapide. La mémoire à long terme dispose d'une capacité immense et l'oubli y est progressif.

La mémoire de travail préalablement appelée mémoire à court terme ou mémoire active (Loftus, 1983) joue un double rôle: elle reçoit l'information venant de l'extérieur et rappelle l'information stockée dans la mémoire à long terme au moment où elle doit saisir les informations nouvelles. Puis, elle emmagasine les informations nouvelles dans la mémoire à long terme. La mémoire de travail de par sa capacité de stockage limité est susceptible de connaître certains dysfonctionnements. Un épuisement du cerveau atteint souvent celui qui utilise de façon soutenue la capacité de rétention de la mémoire de travail. Aussi, recommande-t-on de soulager la mémoire de travail.

On présente généralement la mémoire à long terme comme le responsable de la transformation et du codage de l'information initiale. On lui attribue aussi la tâche de la conservation de l'information en vue de son utilisation dans les situations appropriées. Cependant, les opinions divergent par rapport au mode de classification de ces informations. D'une part, Astolfi (1997) explique que la mémoire fonctionne comme un réseau sémantique par rapport aux nouveaux concepts qu'elle représente; c'est-à-dire qu'elle agit comme une machine qui enregistre les nouveaux concepts et les range dans des tiroirs en fonction de

leurs propriétés. D'autre part, Delannoy (1994) estime que la mémoire opère par association pour récupérer les informations qu'elle détient. Partant de cette constatation, elle avance plutôt que c'est l'origine de l'information qui détermine le mode de classification de la mémoire.

Mais, quelque soit la façon précise dont on envisage son fonctionnement, il arrive quelquefois que la mémoire subisse une défaillance et ne parvienne pas à répondre aux stimuli. Elle se trouve alors submergée, ce qui cause des oublis plus ou moins importants.

Il en résulte des erreurs qui sont liées aux déficiences de la mémoire. Il peut s'agir de la mémoire de travail efficace fonctionnant durant un court laps de temps et stockant un nombre infime d'informations ou de la mémoire à long terme conservant les notions en grand nombre et pendant un temps plus long. Les erreurs titrées «surcharge de travail» seront liées à la mémoire de travail. La mémoire à long terme sera alors utilisée pour les processus simples (Astolfi, 1997). Le fait par cette dernière de n'être plus capable de mener à bien sa fonction sera considéré comme cause des erreurs du genre de celles rencontrées par des élèves au secondaire par rapport aux mots nouveaux. Ces erreurs sont qualifiées d'erreurs liées à la relation entre l'enseignant et l'élève ou au contrat didactique.

De nombreux exemples d'erreurs dites de surcharge cognitive pourraient être donnés et ceux-ci se rapportent aussi bien au vocabulaire ou à la terminologie de la physique qu'à l'orthographe des mots scientifiques. Des mots comme calorimètre, paradichlorobenzène, polystyrène, naphtaline sont souvent reproduits avec des fautes qui les rendent souvent très difficiles à lire. Les formules chimiques sont souvent dénaturées car la deuxième lettre, la minuscule suivant la première majuscule, est souvent oubliée. C'est généralement le cas du chlorure de sodium (NaCl). Le sulfate de sodium (Na_2SO_4) est quelquefois écrit Na_2SO_3 alors que le sulfate de sodium et le sulfite

de sodium sont deux composés ayant des propriétés différentes. D'autres fois, ce sont les chiffres placés à droite des formules qui sont omis comme «3» dans KNO_3 . Il arrive aussi que ce sont les formules pour composer les solutions qui sont oubliées.

9.6.2 Erreurs liées au décodage de la coutume didactique

D'autres erreurs s'expliquent par le fait que l'élève n'est pas doté de la même formation que son professeur et n'a pas non plus le même «cadre de référence» que lui. Ainsi, certaines fois, l'élève ne comprend pas toutes les attentes du professeur et peut produire une mauvaise réponse dans ses interactions avec lui. On pourrait peut-être expliquer cela également par l'idée que le professeur surestime ses élèves. En résumé, le rapport entre le maître et l'élève ne se fait pas toutes les fois dans des conditions idéales car souvent l'élève ne connaît que ses droits mais ignore ses devoirs, c'est-à-dire ce qu'il doit faire pour que les relations élèves/enseignant soient harmonieuses. Il se peut aussi que le problème vienne du côté de l'enseignant dans le cas, par exemple, où il n'a pas permis à l'élève de surmonter ses obstacles par une mise en situation adéquate.

Selon la conception traditionnelle de l'enseignement, les élèves sont surtout portés à mémoriser les concepts et à développer un comportement mécanique au niveau de leurs échanges avec le professeur (Astolfi, 1997). Conscient de ce problème et fort des inconvénients qu'il provoque, l'enseignant peut amener les élèves à maîtriser les concepts à partir de situations-problèmes adéquates. Ainsi, des groupes sont formés et chacun d'eux doit discuter sur des situations-problèmes traitant des aspects essentiels du chapitre à l'étude. Ce procédé vise à faire évoluer leurs fausses conceptions sur le thème. La mise en commun permet à chacun des groupes de présenter les résultats obtenus au reste de la classe.

Cette démarche préalable à l'expérience de laboratoire de chaque chapitre a l'avantage de familiariser les élèves avec le sujet avant de l'étudier réellement

et de leur permettre d'améliorer leurs conceptions. C'est ainsi que la masse et le poids qui, pour certains d'entre eux, représentent des concepts équivalents ont pu devenir par suite d'activités d'apprentissage (étude du concept scientifique et calcul du poids sur différentes planètes leur permettant d'établir la différence entre ces deux termes, d'une planète à une autre, la masse étant constante et le poids variant) deux concepts différents (Quessy et Schepper, 1987; Roberge, 1987).

Selon certains élèves par exemple, l'aluminium est un bon isolant thermique parce qu'on l'utilise souvent pour protéger les aliments de la décomposition.

Cette classification des erreurs illustre combien les erreurs en sciences sont nombreuses et d'origines diverses. Leur analyse détaillée pourrait être l'un des jalons dans l'amélioration aussi bien de l'enseignement des sciences que de l'apprentissage par les élèves ainsi que de leur rendement dans cette matière. Mais compte tenu de l'ampleur de la tâche, seules les erreurs les plus importantes, en raison surtout de leurs conséquences sur les apprentissages futurs de l'élève et les erreurs les plus fréquemment enregistrées ont été retenues dans le cadre de cette recherche.

10. QUESTIONS DE RECHERCHE

La problématique et le cadre théorique ont montré que la nature et les causes des erreurs de ce petit groupe d'élèves en sciences physiques sont nombreuses et variées.

Nous nous posons donc les questions suivantes:

- 1- Quelles sont les erreurs commises par quelques élèves de deuxième année du secondaire dans le cadre d'un cours d'Initiation aux sciences physiques?

2- Comment peut-on les analyser ces erreurs à la lumière des caractéristiques ou des propriétés de diverses catégories?

3- Y-a-t-il des stratégies d'intervention permettant aux élèves de surmonter les erreurs identifiées et analysées?

La méthodologie présentée dans les pages suivantes permet de répondre à ces questions.

TROISIEME CHAPITRE

METHODOLOGIE

1. LES MÉTHODES QUANTITATIVES ET QUALITATIVES

Les deux grands types de méthodes de recherche sont les méthodes quantitatives et les méthodes qualitatives. Ces méthodes découlent elles-mêmes de deux grands paradigmes : le paradigme formaliste et le paradigme naturaliste (Nadeau, 1998).

Le paradigme formaliste correspond à «une position philosophique et épistémologique qui postule la possibilité d'une connaissance positive du monde au sens d'une connaissance vraie et tout à fait objective, qu'il s'agisse du monde social ou du monde physique, d'où l'importation des méthodes des sciences de la nature en sciences humaines» (Lessard, Hébert *et al.*, 1996, p. 25). Le paradigme formaliste conduit donc à l'utilisation de méthodes expérimentales ou quasi expérimentales avec constitution de groupes-contrôle, groupes expérimentaux et utilisation de tests et autres instruments de mesure standardisés.

Le paradigme naturaliste s'inspire de la phénoménologie, de l'anthropologie et de l'ethnographie. Selon ce paradigme, tout comportement humain est déterminé par le milieu dans lequel il est enregistré, ce qui conduit à une étude des phénomènes psychologiques en milieu naturel (Poupart, Deslauriers, Groulx, Laperrière, Mayer et Pires, 1997). Le recours à une telle démarche requiert l'observation (Huynen, 1983; Postic et De Ketele, 1988), mais permet aussi de proposer des hypothèses, d'établir des catégories, d'élaborer des méthodes objectives de collecte et de réaliser des analyses statistiques.

2. UNE MÉTHODE QUALITATIVE

Comprendre les erreurs d'apprentissage en sciences physiques implique une analyse en profondeur du comportement de l'élève en situation d'apprentissage, ce qui inclut à la fois l'élève et toutes les circonstances environnementales qui pourraient influencer son processus d'apprentissage. Les processus d'apprentissage, les démarches de construction des élèves, les comportements

des élèves, leurs réactions par rapport à des situations données d'apprentissage, leurs réponses et leurs interactions, ainsi que des rencontres d'enseignants, et des entrevues individuelles avec les élèves sont les principales sources de données de cette recherche, qui est donc de nature qualitative.

3. L'ENTRETIEN DE RECHERCHE

À l'intérieur des méthodes qualitatives existent diverses approches, plus spécifiques. Les plus courantes, en sciences humaines et en sciences de l'éducation, sont l'observation, l'analyse documentaire et l'enquête. L'enquête peut prendre une forme écrite. On la nomme alors questionnaire. Elle peut aussi se présenter sous la forme orale. On parle dans ce cas d'entrevue ou d'entretien. L'avantage de ce choix est qu'il représente le moyen idéal de recueillir des données provenant directement des témoins ou acteurs des faits qui seront à l'origine de cette étude (Mace, 1988, p. 80). La recherche qualitative de nature exploratoire nous aide à mieux connaître les gens et leurs problèmes (Poupart, Deslauriers, Groulx, Laperrière, Mayer et Pires, 1997) et a un effet bénéfique sur la collecte des données. Dans le cadre de cette recherche, c'est l'entretien oral qui a été adopté. Mais il a été utilisé en combinaison avec d'autres méthodes, par triangulation pour les opérations de vérification.

L'entretien oral facilite l'exploration du monde intérieur de l'interviewé ainsi que la saisie des significations des phénomènes reliés à ce monde (Boutin, 1997). Il a l'avantage de simplifier la présentation et permet de dépasser les préjugés. De plus, il permet de débattre de certains thèmes et de traiter des contradictions et des transformations. Il respecte la sensibilité de l'intervieweur, rend harmonieux les échanges entre deux individus.

Par ailleurs, l'entretien de recherche a plusieurs fonctions. Il permet de recueillir des informations, de vérifier la valeur des résultats obtenus par d'autres moyens et de recueillir des données sur un point particulier. De plus, l'entretien de recherche qualitatif, souvent confondu avec l'entretien non directif, est très utilisé en recherche qualitative et convient à ce type de recherche car il permet

de respecter la communication. Pour toutes ces raisons, il représente notre méthode de base de collecte de données principalement quand il s'agit de réaliser les interviews avec les enseignants.

Cependant, l'entretien de recherche est associé à d'autres techniques telles celles nommée entretien d'explicitation. Cette méthode présente l'avantage de nous permettre de saisir avec précision les démarches individuelles des élèves dans la réalisation d'une tâche. Elle nous aide à procéder au recueil d'informations sur les élèves et se révèle aussi l'outil idéal pour l'élève car elle lui fournit des moyens pour détecter ses erreurs, pour les comprendre et se les expliquer. L'entretien d'explicitation est une technique de questionnement dont le but essentiel est la verbalisation de l'action, c'est-à-dire la description du déroulement de l'action de la façon la plus exacte possible. L'étude du déroulement de l'action représente pour Vermersch (1994) le moyen le plus approprié pour comprendre la démarche employée par l'élève pour la résolution d'un exercice. Aussi, Vermersch (1994) décrit-il le déroulement de l'action comme:

La seule source d'inférences fiables pour mettre en évidence les raisonnements effectivement mis en œuvre (différents de ceux adoptés par hors de l'engagement dans l'action), pour identifier les buts réellement poursuivis (souvent distincts de ce que l'on croit poursuivre), pour repérer les savoirs théoriques effectivement utilisés dans la pratique (souvent différents de ceux maîtrisés en question de cours), pour cerner les représentations ou les préconceptions, sources de difficultés (p. 18).

4. SITUATIONS PROBLÈMES ET ÉTUDE DE CAS

Nous avons présenté deux ou trois situations-problèmes aux élèves par séance de travail. Le principe sous-jacent à ces problèmes est qu'ils doivent mettre en branle un processus d'équilibration chez les élèves. Le malaise créé par la rupture d'équilibre peut les obliger à trouver des stratégies appropriées pour revenir à la rééquilibration. De façon plus concrète, chaque situation a, au préalable, été décomposée de façon à faire ressortir les conceptions et les types de raisonnement nécessaires à la compréhension.

Ces situations-problèmes ont été utilisées dans le cadre d'une étude de cas dont le but est «l'étude et la discussion de situations particulières concernant une ou quelques personnes ». Cette méthode présente de nombreux avantages par rapport à l'objectif de la recherche. Elle donne lieu à des descriptions de la nature d'un problème et d'un traitement éventuel. Elle fournit ainsi des pistes de réflexion et d'exploration qui peuvent servir à d'autres cas . Étant donné que la recherche visait l'analyse des erreurs des élèves en sciences physiques, cette méthode offrait le cadre approprié à l'analyse et à la réflexion sur les erreurs de chaque sujet de manière à trouver les solutions adéquates à chaque cas. Les entrevues que nous avons réalisées dans ce cas nous ont aidé à comprendre comment l'élève parvient à résoudre un exercice en le mettant face à des situations-problèmes pour la résolution desquelles il devait réfléchir sur les processus à utiliser et les décrire préalablement à leur emploi (Van der Maren, 1995).

Les problèmes proposés sont généralement tirés de l'ouvrage de l'élève ou du cahier de problèmes accompagnant ce manuel. Quelques-uns ont été adaptés selon les objectifs qu'on s'était proposé d'atteindre dans chaque cas. Mais, généralement, les problèmes utilisés dans le cadre de l'expérimentation étaient destinés à aider l'élève à surmonter ses difficultés puisque l'adaptation réalisée sur certains d'entre eux fut en rapport avec les difficultés et les erreurs les plus courantes chez ces élèves. Il convient de noter également que les interviews avec les enseignants, les pré-tests de sciences physiques, les questionnaires préliminaires des élèves et l'analyse préliminaire des erreurs réalisée dans chaque cas sur la page du journal de bord ont été les premiers moyens ayant servi à la prise de connaissance avec les difficultés et les erreurs de ces élèves. Il faut ajouter que l'analyse des informations enregistrées à propos des erreurs au moyen de chacun de ces divers instruments a été à l'origine de l'établissement de la liste des caractéristiques que devaient présenter les problèmes utilisés lors de l'expérimentation pour constituer un outil adéquat pour l'apport d'aide à l'élève.

Étant donné que des problèmes ont été proposés pour l'apprentissage, nous en avons également profité pour réaliser une analyse des obstacles à l'apprentissage. Le journal de bord et l'enregistrement permirent de retenir les aspects importants des interactions. L'utilisation du magnétophone nous laissa libre de nous concentrer sur les questions à poser et les réponses données.

5. LES INSTRUMENTS

Nous avons utilisé certaines des grilles proposées dans la «*Formule d'aide à l'élève qui rencontre des difficultés au secondaire*» (MEQ, 1984), des questionnaires destinés aux enseignants et aux élèves, les feuilles de travail des élèves et un journal de bord.

5.1. Formule d'aide à l'élève qui rencontre des difficultés au secondaire

Cette formule, qui est en fait un guide pédagogique produit par le ministère de l'Éducation du Québec, comporte plusieurs instruments particulièrement utiles. En voici un exemple :

- Le «*Questionnaire Préliminaire*» destiné aux élèves est conçu à partir du «*Questionnaire de participation* » mais contrairement à ce document le volet comportement n'a pas été envisagé dans le «*Questionnaire Préliminaire*». Les questions qu'il comporte traitent spécifiquement des difficultés de l'élève en sciences physiques et en mathématiques ainsi que celles qu'il rencontre éventuellement dans d'autres disciplines.

5.2. Les questionnaires destinés aux enseignants et aux élèves

Nous avons élaboré des questionnaires qui servirent lors des entrevues avec les enseignants de mathématiques et de sciences et lors des entrevues avec les élèves sujets à l'erreur.

5.3. Feuilles de travail des élèves

Les élèves essayèrent de résoudre les problèmes en écrivant sur des feuilles mobiles, de façon à laisser des traces de leur travail. Il arriva aussi qu'ils travaillent au tableau ou encore au laboratoire pour une expérience au moyen de matériel et de produits.

5.4. Le journal de bord

Notre journal de bord servit à la retranscription de tous les moments importants des rencontres avec les élèves. Les erreurs des élèves, leurs progrès, les comportements les plus importants des élèves y ont également été notés.

6. LA POPULATION

La population était constituée par un petit groupe d'élèves de deuxième année du secondaire de l'école secondaire Joseph-François-Perrault du quartier Saint-Michel de Montréal. Il s'agit d'une clientèle multiethnique composée de Québécois de souche ainsi que d'élèves d'origine haïtienne, italienne et latino-américaine de 13 à 17 ans. Plusieurs d'entre eux font le niveau secondaire 2 pour une deuxième fois. La diversité de la clientèle permet d'étudier la capacité à maîtriser les sciences quand la langue d'enseignement est différente de la langue maternelle.

7. L'EXPÉRIMENTATION

Le choix des élèves en difficulté a été réalisé par les enseignants du cours d'Initiation aux sciences physiques de deuxième secondaire. L'observation du comportement de leurs élèves en situation d'apprentissage des sciences leur avait en effet permis d'identifier douze élèves qui commettaient de fréquentes erreurs lors des exercices, travaux de laboratoire et autres tâches à effectuer en sciences physiques.

Les parents de ces élèves ont été avisés que leur enfant participerait à une expérimentation visant à étudier leurs erreurs en sciences physiques et à trouver des moyens de les aider à les surmonter. Ils ont également été avisés que cette opération impliquerait la participation de leur enfant à des périodes d'études se déroulant après les heures de classe.

La conseillère pédagogique, les deux enseignants titulaires en Initiation aux sciences physiques et deux enseignants de mathématiques nous ont aidé à nous procurer le matériel didactique nécessaire .

Nous avons au préalable réalisé les interviews avec les enseignants de sciences et de mathématiques de ces différents élèves. Les réponses aux différentes questions qui ont été posées au professeur A sont les suivantes :

Les objectifs de l'expérimentation ont été présentés aux élèves lors d'une première rencontre. À la suite de l'obtention de l'accord des élèves, des fiches d'identification ont été remplies. Au cours des mois suivants, la recherche s'est déroulée au rythme de 2 séances de travail de 45 minutes par semaine. Les séances des premières semaines ont permis de connaître les élèves et de recueillir des informations générales sur leur style d'apprentissage, tandis que les séances suivantes ont été consacrées à la collecte de données au sujet des erreurs en sciences physiques. Tel que mentionné dans le chapitre précédent, ces séances de travail ont principalement été consacrées à la résolution de problèmes, au travail de laboratoire ainsi qu'à des entrevues individuelles avec certains élèves.

Lors des séances de travail, les élèves ont essayé de résoudre un certain nombre de problèmes et d'exercices portant sur des concepts de sciences physiques qui leur posaient des difficultés.

La première séance de travail a débuté par la distribution aux élèves des questionnaires préliminaires (annexe1). On a conclu cette séance par la distribution aux élèves du pré-test de sciences physiques.

Deux mois après le début des opérations, on a estimé qu'on connaissait assez bien les difficultés des élèves puisqu'on était à même de prévoir que l'élève commettrait une erreur donnée dans un type d'exercice. Les élèves étaient aussi beaucoup plus confiants et discutaient plus librement de leurs erreurs. On a décidé que le moment était venu de débiter la collecte de données.

7.1 Les interviews avec les enseignants

Les deux enseignants de mathématiques et les deux enseignants de sciences physiques ont répondu à un certain nombre de questions. On a désigné les professeurs de mathématiques par les lettres A et B et les professeurs de sciences physiques par les lettres C et D pour faciliter la transcription des réponses.

7.1.1 Les professeurs de mathématiques

Les réponses aux différentes questions ont été les suivantes :

Question 1.

Le professeur A a désigné par élève en difficulté en mathématiques, tout élève dont le rendement est faible et dont les différents travaux ont permis de détecter une absence de maîtrise des concepts étudiés .

Le professeur B a considéré qu'un élève est en difficulté d'apprentissage lorsque ses notes ont toujours été en dessous de la moyenne depuis le début de l'année scolaire.

Question 2

Les deux professeurs ont été unanimes à reconnaître l'existence de trois catégories distinctes d'élèves, les forts, les moyens et les faibles dans leurs classes respectives.

Question 3

Les deux professeurs ont pensé que le milieu socio économique de l'élève peut influencer le rendement en mathématiques de celui-ci car, selon eux, l'exemple des parents ayant réalisé des études de haut niveau est toujours édifiant pour leurs enfants. Ils ont tous les deux remarqué aussi que plus le niveau intellectuel des parents est élevé, plus le rendement de l'enfant a des chances d'être élevé car l'encadrement réalisé par les parents est, du fait de leur niveau intellectuel élevé, plus adéquat. Ils ont, en somme, fait état de la corrélation étroite existant entre le niveau intellectuel des parents et la performance scolaire de leurs enfants en mathématiques.

Question 4

Le professeur A a dit avoir rencontré de nombreux cas de décrochage en mathématiques mais que l'un des élèves a recommencé à travailler dans cette matière suite à des leçons particulières .

Le professeur B a précisé qu'il n'avait détecté qu'un cas de ce genre. Il a ajouté que tous les moyens utilisés jusqu'à date n'ont pas amélioré les performances de cet élève en la matière .

Question 5

Les réponses des deux professeurs à cette question ont été les suivantes :

Selon eux, chez les élèves forts, les difficultés les plus fréquentes en mathématiques étaient généralement liées au manque d'attention et à une mauvaise lecture des consignes. Les élèves moyens avaient des difficultés liées à une mauvaise lecture des consignes, au choix de la bonne formule et à celui de la stratégie de résolution adéquate. Les élèves faibles connaissaient des difficultés à tous les niveaux de l'opération de résolution d'un problème. Il s'y ajoutait souvent des difficultés liées à des opérations simples comme les conversions, la résolution d'une addition ou d'une multiplication.

Question 6

Les deux professeurs ont été d'accord sur le fait que les erreurs en mathématiques de leurs élèves ont un rapport quelconque avec une mauvaise lecture des consignes, les difficultés dans d'autres matières et les conceptions fausses de ces élèves .

Question 7

Selon les professeurs A et B, les erreurs s'expliquent dans certaines situations didactiques par une cause mais dans d'autres, et selon eux, c'est le cas qui a été le plus souvent observé, à tout un ensemble de causes.

Question 8

Le professeur A a estimé que les difficultés de la plupart de ces élèves étaient liées à leurs lacunes dans la matière. Le professeur B a pensé que les lacunes des élèves en mathématiques ou dans d'autres matières telles le français, étaient quelquefois responsables de leurs difficultés dans cette matière.

Question 9

Le professeur A a indiqué que les élèves qui avaient des difficultés en mathématiques se dirigeaient vers les sciences humaines. Le professeur B a partagé ce point de vue. Il a ajouté cependant qu'il était probable que lorsque les élèves moyens parviendraient à surmonter des difficultés peu importantes, ils reviendraient aux disciplines scientifiques.

Question 10

Les deux professeurs ont pensé que le fait d'augmenter le nombre de périodes en semaine serait profitable. Ils ont pensé que le fait de donner aux élèves des devoirs de maison serait bénéfique également.

7.1.2 Les professeurs de sciences physiques.

Les réponses aux différentes questions ont été les suivantes :

Question 1

Les professeurs C et D ont pensé qu'un élève peut être dit en difficulté d'apprentissage en sciences physiques quand il n'a jamais obtenu la moyenne aux différents tests réalisés du début de l'année à la deuxième période, quand il a commis des erreurs indiquant qu'il n'a pas saisi des aspects importants du programme et quand son rendement général (devoirs de classe, tests et devoirs de maison) dans la matière a été faible.

Question 2

Les professeurs C et D ont répondu qu'on pouvait retrouver les trois catégories d'élèves dans leurs classes.

Question 3

Les professeurs ont estimé que le milieu socio économique influençait généralement les résultats des élèves en sciences physiques puisque c'est une matière utilisant généralement les techniques mathématiques, et nécessitant de ce fait, une aide des parents alliée à une persévérance au travail des élèves. Ils ont ajouté que puisque l'élévation du niveau intellectuel marche souvent de pair avec celle du milieu socio économique, les élèves dont les parents appartenaient à un milieu socio économique élevé, et qui, de ce fait, avaient un niveau intellectuel élevé, leur fourniraient un encadrement approprié et leur inculqueraient aussi le goût du travail bien fait.

Question 4

Selon le professeur C, il n'y a pas eu de cas de décrochage en sciences physiques, mais des élèves en difficulté d'apprentissage dans la matière. Le

professeur D a précisé qu'il n'a pas enregistré de cas de décrochage scolaire. Il a indiqué qu'il comptait seulement des élèves ayant des difficultés en mathématiques et en français.

Question 5

Le professeur C a affirmé que les difficultés des élèves faibles se retrouvaient dans les chapitres traitant des transformations subies par l'eau, dans l'étude des instruments permettant de réaliser des prévisions à propos du temps, dans l'étude des solutions, dans celle de la chaleur et de la température ainsi que dans l'utilisation de ces notions pour résoudre des problèmes. Les élèves moyens éprouvaient, selon lui, des difficultés dans l'étude de ces mêmes notions mais ces difficultés se rapportaient beaucoup plus à la compréhension des consignes faisant référence à ces notions. Quelques uns ne pouvaient utiliser correctement les techniques mathématiques nécessaires aux problèmes portant sur ces notions. Les élèves forts connaissaient des difficultés en rapport avec la lecture des consignes reliées à la résolution des problèmes portant sur l'une ou l'autre de ces notions .

Le professeur D a estimé que les élèves faibles de sa classe avaient des difficultés dans la résolution de problèmes portant sur toutes les parties du programme tandis que les élèves moyens avaient des difficultés seulement sur les chapitres traitant de la chaleur et de la température et de l'eau. Les élèves forts connaissaient seulement des difficultés relevant de leur manque de concentration.

Question 6

Selon les professeurs, les difficultés étaient liées à la consigne, aux difficultés dans d'autres matières, et aux conceptions fausses de leurs élèves.

Question 7

Les difficultés des élèves relevaient d'un ensemble de causes dont les principales étaient les lacunes en mathématiques, les lacunes en français, les lacunes en sciences physiques, le fait de ne pas aimer la matière, le manque d'intérêt immédiat pour la matière vu qu'après le secondaire deux l'étude de cette matière ne serait reprise qu'au secondaire quatre et les conceptions fausses.

Question 8

Les professeurs C et D ont estimé que tout un ensemble de causes pourraient expliquer les difficultés des élèves en sciences physiques.

Question 9

Il y avait de fortes chances, selon les professeurs, que les élèves ayant des difficultés en sciences physiques laissent tomber les disciplines scientifiques au profit de disciplines utilisant un peu moins les mathématiques.

Question 10

Selon les professeurs, l'idéal aurait été d'offrir une aide personnalisée aux élèves mais, à défaut de celle-ci, on pourrait penser à des cours de rattrapage.

7.2 Les questionnaires des élèves

Sur douze élèves présents, on a pu récupérer neuf questionnaires remplis. Les neuf élèves ont participé à l'expérimentation. Les réponses aux questions ont été les suivantes :

Question 1

Neuf élèves ont répondu non à la question 1. Les sciences physiques représentent pour eux une matière aussi difficile que les mathématiques.

Question 2

Les élèves qui ont participé à l'expérimentation n'ont pas présenté leurs notes. Cependant, ils ont tous répondu que leurs notes étaient très faibles par rapport à celles des autres élèves de la classe.

Question 3

A cette question, sept élèves ont répondu qu'ils avaient des difficultés dans les notions de chaleur et de température, dans l'étude des propriétés de la chaleur et dans le tracé de courbe.

Cinq élèves ont répondu qu'ils comprenaient peu les contenus se rapportant aux transformations subies par l'eau, aux caractéristiques de l'atmosphère terrestre et au cycle de l'eau.

Quatre élèves ont répondu qu'ils ne maîtrisaient pas les procédés adéquats de séparation des constituants d'un mélange.

Question 4

Les neuf élèves ont déclaré avoir des difficultés en Mathématiques et en Sciences Physiques et en Anglais. Huit d'entre ont déclaré avoir des difficultés en Français. Six élèves ont dit avoir des difficultés en Histoire. Deux élèves ont dit qu'ils n'ont pas de difficultés en Arts Plastiques ,en Education Physique et en Enseignement Moral. Quatre élèves ont déclaré ne pas connaître de difficultés en Arts Plastiques et en Education Physique tandis que deux élèves ont dit ne pas en avoir en Enseignement Moral. Trois élèves ont déclaré avoir des difficultés en Arts Plastiques .

Question 5

Les neuf élèves ont dit avoir des difficultés au niveau de la résolution d'équations. Six élèves ont déclaré connaître des difficultés dans l'étude des

probabilités et celle des cercles tandis que cinq élèves ont déclaré qu'ils⁷³ connaissent des difficultés dans les problèmes portant sur les probabilités, les cercles, dans la résolution d'équations et dans les pourcentages. Deux élèves ne maîtrisent pas les notions de pourcentage.

Question 6

Huit élèves ont déclaré que les cours particuliers les aideraient probablement à surmonter leurs difficultés en mathématiques tandis que l'un deux a opté pour les devoirs de maison.

Question 7

Trois élèves ont préféré les exercices quotidiens et six élèves ont choisi le rattrapage comme forme d'aide.

L'analyse des différentes réponses obtenues a permis de tirer les conclusions suivantes :

- 1) Tous les élèves qui ont participé à l'expérimentation ont reconnu avoir des difficultés en sciences physiques. On a pu remarquer également que presque tous les élèves qui connaissent des difficultés en sciences physiques ont aussi des faiblesses en mathématiques. Certains d'entre eux ont aussi des difficultés en français, en anglais et en arts plastiques. Les notes obtenues aux deux périodes ayant précédé l'organisation de l'expérimentation le confirment.
- 2) Les élèves connaissent des difficultés dans la plupart des chapitres de sciences physiques. Les professeurs de sciences physiques dans les interviews qu'ils nous ont accordé, avaient aussi précisé que les difficultés de ces élèves se concentraient surtout sur l'étude de la chaleur et de la température, sur celle du tracé des courbes, sur l'étude de l'eau et de ses transformations, sur celle de l'atmosphère terrestre ainsi que sur celle des procédés adéquats de séparation des constituants de l'eau.

- 3) Tous les élèves ont reconnu qu'il leur fallait une aide quelconque en dehors de celle que pouvait leur fournir leur enseignant régulier pour surmonter leurs difficultés en sciences physiques.

7.3 Le pré-test de sciences physiques.

La distribution du pré-test de sciences physiques(annexe 4) aux élèves avait pour but de nous fournir des informations nous permettant de détecter le niveau des élèves en sciences physiques et d'initier la prise de connaissance de leurs erreurs et de leurs difficultés dans cette matière. On a choisi de faire porter la majeure partie de des questions sur le module «Chaleur et Température» parce que nous estimions qu'une telle orientation nous fournirait d'excellents indices sur les apprentissages antérieurs de l'élève d'autant plus que l'étude de ce chapitre exigerait aussi la maîtrise d'un ensemble d'opérations et de techniques issues des mathématiques en même temps que celle de notions importantes du programme de sciences physiques. La question portant sur le rôle des expériences de laboratoire devait permettre de vérifier que l'élève avait saisi la nécessité de s'impliquer lors de la réalisation des expériences de laboratoire puisqu'une telle expérience avait pour rôle essentiel de faciliter la compréhension par l'élève des notions de sciences.

Les neuf élèves ont répondu aux différentes questions mais aucun d'entre eux n'a pu trouver la réponse exacte à la première question .Trois élèves ont obtenu la réponse exacte à la deuxième question. Les neuf élèves ont répondu à la troisième question avec succès.

L'analyse de ces réponses a contribué à la réalisation d'un choix de problèmes (annexe 7) utilisés dans la période qui a précédé l'expérimentation, lesquels seraient, de ce fait, les plus susceptibles d'aider à déceler les éventuelles erreurs des élèves durant la recherche. Elle a aussi permis de voir les contenus réellement maîtrisés par les élèves sur la partie du programme déjà abordée.

7.4 Les activités de familiarisation.

L'expérimentation a débuté par les séances de familiarisation et s'est terminée par la collecte de données. Les séances de familiarisation ont été au nombre de dix. La collecte de données s'est étendue sur quatorze séances.

Les séances de familiarisation ont été réalisées selon le mode suivant :

- 1- Rappel des aspects théoriques essentiels du thème de la séance.
- 2- Réalisation d'une expérience de laboratoire, s'il y a lieu.
- 3-Vérification par quelques questions orales de la fixation des notions importantes .
- 4-Exercices dont le premier de la série est effectué par l'enseignant .
- 5-Exercices réalisés par les élèves durant le reste de la séance ou à la séance suivante.

On a utilisé le microphone tout au long des différentes séances de familiarisation. Avant le début des séances et entre différentes étapes menées par l'enseignant, ce dernier a noté les informations sur le déroulement de la séance, sur les erreurs enregistrées ainsi que sur les caractéristiques de celles-ci et sur les élèves qui les commettent. A la fin de la séance ,on a reporté sur la page du journal de bord (annexe 6) attribuée à chaque élève, les informations recueillies sur les erreurs commises et retrouvées durant cette partie de l'opération .

On a ensuite recueilli les feuilles de travail des élèves. On a procédé à la correction et à l'analyse des erreurs enregistrées. On a écouté les enregistrements sonores réalisés durant la séance pour compléter les données amassées durant la correction et l'analyse des copies.

A la fin de d'une séance, chaque élève a généralement réalisé un exercice dans le cas où cette séance a été consacrée en majeure partie à une étude théorique, ou trois problèmes, si la séance était destinée à la résolution d'exercices visant à faciliter la compréhension de la théorie abordée lors de la précédente séance.

Pour un élève du groupe qui a eu à résoudre l'exercice ci-dessous, on a recueilli certaines informations qu'on a placées sur la page du Journal de bord (annexe 6) qui était attribuée à celui-ci .

Dis si l'énoncé est vrai ou faux dans chacun des cas suivants. S'il est faux, rectifie-le.

- On peut percevoir les effets de la chaleur quand, au toucher, on différencie un corps chaud d'un corps froid.

- La chaleur est une forme d'énergie.

- L'énergie calorifique est communiquée aux particules (molécules) d'un corps et les agite.

- La température est un indice de la quantité de chaleur contenue dans un corps.

- La température est un indice du niveau d'énergie, c'est à dire, du niveau de chaleur (d'agitation) contenue dans les particules d'un corps.

- La température se mesure avec un calorimètre.

PAGE DU JOURNAL DE BORD

Nom de l'élève : Elève 1

Date : 19 février 1999

LES ERREURS

- Exercice résolu

Les réponses de l'élève sont :

- 1) Vrai
- 2) Vrai
- 3) Vrai
- 4) Vrai
- 5) Vrai
- 6) Vrai

-Erreur(s) enregistrée(s)

Les énoncés 4 et 6 sont faux alors que l'élève dit qu'ils sont vrais.

ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES ERREURS DES ÉLÈVES

a) Type d'erreur observé

1. erreur probablement liée aux difficultés conceptuelles.
2. erreur probablement liée à la surcharge cognitive.
- 3.
- 4.

b) Module sur lequel porte l'exercice dans lequel on observe chaque type d'erreur répertorié.

1. La chaleur et les effets thermiques.
- 2.

3.

4.

- c) Type d'exercice(exercice portant sur des connaissances procédurales ou sur des connaissances déclaratives) dans lequel on enregistre chaque erreur.

Cet exercice porte sur des connaissances théoriques.

COMMENTAIRES

Cet élève commet deux erreurs dont la première peut être due au fait deuxième au fait qu'il ne saisit pas le sens du concept et la deuxième au fait qu'il ne maîtrise pas la consigne.

On a donné à cet élève des exercices correctifs (annexe 7) dans le but de l'aider à surmonter ses erreurs.

7.5 La collecte de données

On a réalisé cette partie de l'opération selon le même horaire que les activités de familiarisation à la seule différence qu'on a consacré peu de temps à la partie théorique et aux séances de laboratoire. Cette période serait consacrée essentiellement à la collecte de données qui seraient traitées dans le cadre de cette recherche. Le recueil de ces informations sur la base desquelles les conclusions à cette expérimentation ont été tirées représentent l'objectif principal de cette expérimentation. Durant les opérations, chaque élève devait résoudre un problème . La solution présentée subissait une analyse. On y a

découvert une ou plusieurs erreurs. On a proposé pour chacune d'elles une stratégie. On a présenté les différentes parties de l'opération au chapitre suivant.

QUATRIEME CHAPITRE
RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Ce chapitre compte trois parties : une première dans laquelle on présente les principales erreurs identifiées, une deuxième dans laquelle on classe les erreurs et une troisième dans laquelle on propose pour chacune de ces erreurs, des éléments d'analyse et une brève stratégie d'intervention.

1. LES ERREURS RETROUVEES CHEZ LES ELEVES

Les opérations de collecte de données ont permis d'enregistrer un certain nombre d'erreurs chez les élèves. On indique pour chacune d'elles, la donnée de l'exercice proposé, les conditions de réalisation et une justification de l'existence de l'erreur.

1.1 Première erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par un élève de notre groupe:

1.1.1 Présentation

Le problème proposé à cet élève est le calcul de la masse volumique d'une substance dont la masse est de 4,74 kilogrammes et dont le volume est de 60 centimètre-cubes. Les objectifs de cette activité sont de concrétiser la notion de masse volumique d'une substance et de convertir une valeur en kilogrammes en une valeur en grammes. L'élève peut utiliser son manuel.

On rappelle à l'élève la formule de la masse volumique ainsi que ses conditions d'application. L'élève doit présenter les différentes étapes de sa solution et encadrer la réponse finale, qui doit comporter les unités appropriées.

L'élève présente la solution suivante:

Masse volumique de la substance A:

La masse volumique se calcule à partir de la formule $R_o = m/v$

On a : $R_o = 4,74 \text{ kg}/60 \text{ centimètres} = 0,079 \text{ kg/centimètres cube}$

$$R_o = 0,079 \text{ kg/centimètres cube}$$

La formule est exacte mais on remarque que l'élève ne réalise pas la conversion en grammes de la masse exprimée en kilogrammes avant d'effectuer le calcul demandé. C'est pourquoi il obtient le résultat 0,079kg/cm³ au lieu de 79g/cm³.

L'élève commet donc une erreur portant sur une opération dont la maîtrise est un préalable au calcul de masses volumiques.

1.2. Deuxieme erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par une élève de notre groupe:

1.2.1. Présentation

Les élèves doivent mentionner deux des principaux facteurs qui influencent la quantité de chaleur absorbée par une substance et expliquer l'action de chacun de ces facteurs au moyen d'un exemple.

Le contenu ne correspond pas tout à fait aux exigences car si cette élève cite le facteur masse et présente l'action de la masse sur la quantité de chaleur absorbée, elle omet de mentionner l'action de l'autre facteur qui est soit la variation de la température soit la chaleur massique et ne les cite pas. Elle écrit:

On peut citer l'effet de la masse sur l'absorption de la chaleur par une substance. Si on met un bol et une marmite de soupe sur le four de façon à ce qu'ils reçoivent la même quantité de chaleur, quand l'eau contenue dans le bol arrivera à ébullition, celle contenue dans la marmite sera tiède à cause de la différence de masse. Le plus grand nombre de particules dans la marmite explique la baisse de température enregistrée dans ce récipient.

Puisque trois facteurs, soient la masse, la variation de la température et la chaleur massique de la substance influencent la quantité de chaleur absorbée par une substance, on considère que la réponse de l'élève est incomplète.

L'élève commet une erreur parce qu'elle omet une partie de la réponse.

1.3 Troisième erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par un élève de notre groupe:

1.3.1. Présentation

Lors d'un exercice, on demande aux élèves de présenter brièvement, par écrit, les concepts de masse et de poids d'un corps en faisant ressortir les différences entre eux. Les objectifs visés par cette activité sont de définir la masse d'un corps, de définir le poids d'un corps et d'établir la différence entre la masse et le poids.

Le texte de l'élève se présente de la manière suivante:

En sciences physiques, un corps se caractérise par sa masse. On parle par exemple de la masse et du poids d'un tas de pierres. La masse est la quantité de matière qu'on trouve dans ce corps. La masse d'un corps est souvent influencée par l'effet de la pesanteur sur ce corps. La forme du corps ne modifie pas sa masse.

Une lecture attentive montre que la structure du texte n'est pas adéquate et que le texte n'établit pas la différence entre le concept de masse et le concept de poids. Cet élève semble considérer que le poids et la masse sont deux expressions équivalentes car il les emploie comme si elles étaient des synonymes. Pourtant, la masse, qui dépend de la quantité de matière, ne varie pas selon l'endroit où le corps se trouve, alors que le poids, qui est la force due

à l'attraction exercée par la Terre sur les objets, varie selon la distance entre l'objet et la Terre. Il commet de ce fait une erreur.

1.4. Quatrième erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par un élève de notre groupe:

1.4.1. Présentation

Dans le cadre d'un travail portant sur la présentation du concept de chaleur, on demande aux élèves d'expliquer le concept chaleur et de le distinguer du concept de température. Les élèves doivent être capable de comprendre le mécanisme de production de la chaleur et de découvrir le lien entre la chaleur et la température.

L'élève présente le texte suivant:

La chaleur est une forme d'énergie dont l'unité est le Joule. La température est un indice de l'agitation des particules qui composent la matière. On ne peut pas voir la chaleur. On peut seulement la sentir. Plus la chaleur s'élève dans un corps, plus le corps est chaud. On peut s'en rendre compte en y touchant. C'est souvent à cause de la chaleur élevée que certaines personnes se sentent mal en été. Cette expérience permet de comprendre les inconvénients de la hausse de chaleur sur le corps humain.

Le texte débute par des définitions de la chaleur et de la température tirées du manuel d'Initiation aux sciences physiques, mais n'explique pas ces concepts. De plus, ce texte n'établit pas le lien entre chaleur et température. Par ailleurs, le texte semble abstrait et vide de sens pour l'élève et ne démontre pas une compréhension véritable de ces concepts importants des sciences physiques.

Les discussions réalisées avec cet élève confirment d'ailleurs que le lien entre la chaleur et la température lui échappe. C'est pour cette raison que son texte ne mentionne pas les éléments demandés. Un tel comportement est dit erroné.

1.5. Cinquième erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par un élève de notre groupe:

1.5.1 Présentation

Lors de la rédaction d'un rapport de laboratoire, on demande aux élèves de présenter les étapes de «l'interrogation», ou formulation des questions, d'une expérimentation scientifique. L'élève doit être capable de présenter et d'expliquer par écrit les étapes de l'interrogation, en tenant compte du lien qui existe entre l'interrogation et la formulation d'une ou de plusieurs hypothèses.

Selon le cours d'Initiation aux sciences physiques, l'interrogation est une facette essentielle de l'activité scientifique car elle en constitue le point de départ. Il est nécessaire qu'elle soit bien formulée car c'est à cette seule condition qu'elle ouvre vraiment la voie à la recherche d'une explication.

En principe, l'élève doit, après avoir mentionné les trois étapes de la conception d'une interrogation - qui sont de s'entraîner à se poser des questions sur un fait observé, de formuler des questions sur ce fait, et de retenir la question qui sert de base à l'hypothèse - décrire brièvement chacune des étapes. L'élève dispose de son manuel d'Initiation aux sciences physiques et des notes prises lors d'une séance de laboratoire. Les consignes à respecter sont énoncées oralement.

La lecture du travail d'un des élèves montre qu'il n'a pas une conception adéquate de l'interrogation qui doit apparaître dans son rapport de laboratoire.

L'élève débute son texte de la manière suivante:

Pour rédiger l'interrogation d'un rapport de laboratoire, il faut présenter les éléments suivants: Il faut d'abord présenter le lieu dans lequel se déroule l'expérience. On dit aussi à quel moment de la journée se réalise l'expérience et qui l'a réalisé. On écrit les noms de ceux qui étaient présents le jour où on a fait cette

expérience. Ensuite on aborde la description du phénomène sur lequel porte l'expérience et on se pose une question ou des questions sur le phénomène observé.

Cet extrait, ainsi que la suite du texte, montrent que l'élève ne comprend pas le principe de la rédaction de l'interrogation puisqu'il la présente selon le modèle de la situation initiale d'un texte narratif qui comprend le lieu de l'action, le moment de l'action, les principaux personnages de l'action (Carman, 1997), en employant des expressions rappelant le fait de raconter un événement plutôt que des expressions évoquant l'analyse, la formulation de questions et le choix d'une question pouvant servir à la formulation de l'hypothèse d'une expérimentation scientifique. Il mentionne les deux premières étapes mais omet la troisième. Il n'effectue aucune analyse. Il ne précise pas les contenus des étapes qu'il mentionne. De plus, il n'utilise pas les expressions adéquates pour présenter son expérience. C'est en cela que consiste son erreur.

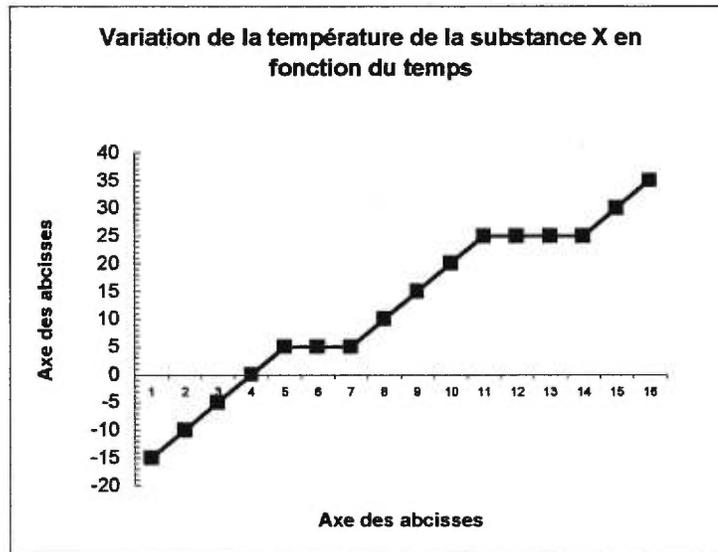
1.6 Sixième erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par une élève de notre groupe:

1.6.1 Présentation

Lors d'un exercice portant sur un graphique de variation de température d'une substance X en fonction du temps, on demande aux élèves d'identifier les paliers de la courbe et d'expliquer la signification des paliers que cette courbe présente. L'exercice est rendu plus difficile du fait que les unités des axes, soit la température et le temps, ne sont pas identifiées. Seules les valeurs numériques des échelles sont données.

Figure 2



De façon plus précise, on demande aux élèves d'effectuer les deux tâches suivantes:

- 1) D'un point placé sur l'axe du temps du graphique de changement de phase ci-dessus, tracer une ligne atteignant l'un des paliers du graphique en son milieu.
- 2) La partie du graphique que rencontre la ligne que tu as tracée se nomme:
 - a) Changement
 - b) Courbe
 - c) Fléchissement
 - d) Palier

L'élève dont il est question ici semble intervertir mentalement l'axe qui représente la température et l'axe qui représente le temps. En effet, elle part de l'axe de la température et, du point 15 de cet axe, trace une ligne horizontale qui n'atteint aucun des deux paliers de la courbe. De plus, dans la question à choix multiple, elle choisit la réponse «a», qui correspond à «changement», alors que la bonne réponse est «d», qui correspond à palier. Cet élève commet deux erreurs du même type.

1.7 Septième erreur

Voici, par exemple, une erreur type commise par un élève de notre groupe:

1.7.1 Présentation

Lors d'un exercice, on demande aux élèves de présenter de mémoire les notions de fusion, d'évaporation, de liquéfaction, de sublimation, d'ébullition, de solidification et de vaporisation. Le texte doit également faire ressortir le lien entre ces différents états et comporter une introduction, une conclusion.

Le texte de l'élève se présente de la manière suivante:

La chaleur provoque de nombreux effets sur les objets. Un des effets est le changement de phase, c'est-à-dire les formes de la matière sous l'action de la chaleur. Il existe six changements de phase. La fusion est une opération par laquelle le solide devient liquide. On a par exemple la fonte de la neige à l'arrivée du printemps. La solidification est le changement de phase par lequel le liquide devient solide. C'est le cas lors de la transformation des gouttelettes d'eau en neige. La vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état de vapeur. C'est le cas dans le fonctionnement d'une bouilloire. La liquéfaction est le passage de l'état gazeux à l'état liquide. La sublimation est le passage d'une substance de l'état solide à l'état gazeux. Celle du gaz carbonique solide en vapeur est utilisée dans le cinéma...

Une lecture attentive montre que ce texte, à première vue correct parce que constitué de définitions mémorisées, comporte des fautes d'orthographe dans les termes importants. Par exemple, «sublimation» est devenue «subilation», «liquéfaction» est devenu «liquéfaction», «vaporisation» est devenu «vaporation», ce qui rend le texte difficilement compréhensible.

Cet élève, qui a pourtant eu la possibilité de se familiariser avec la terminologie lors de ses cours d'Initiation aux sciences physiques, ne parvient pas à écrire un court texte sans faire de fautes d'orthographe dans les termes scientifiques les plus importants. Ses erreurs sont multiples mais sont du même type.

1.8. Huitième erreur

Voici, par exemple, une erreur-type commise par un élève de notre groupe.

1.8.1 Présentation.

L'élève doit calculer le volume d'un contenant dont la longueur est 5 centimètres, la largeur est 16 centimètres et la hauteur 4 centimètres.

On rappelle à l'élève la formule à employer ainsi que ses conditions d'application. Il ne doit pas utiliser la calculatrice.

L'élève présente la solution suivante :

Le volume des solides se calcule par la formule : $\text{Volume} = \text{longueur} \times \text{largeur} \times \text{hauteur}$.

$\text{Volume} = 5\text{cm} \times 16\text{cm} \times 4\text{cm} = 32\text{ centimètres-cubes}$.

L'élève obtient une réponse fautive (32 centimètres-cubes) alors que la réponse exacte est 320 centimètres-cubes. L'analyse de l'opération effectuée révèle qu'il place de façon inadéquate les chiffres de la deuxième multiplication (20 cm x 16 cm).

Ainsi, il écrit :

$$5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} = 20$$

$$20 \text{ cm} \times 16 \text{ cm} = 012 + 02 = 32 \text{ centimètres cubes}$$

Ainsi, l'élève produit une réponse fautive. Il place les chiffres de la droite vers la gauche alors que les conventions veulent qu'on les écrive de la gauche vers la droite. On conclut que cet élève commet une erreur.

1.9 .Neuvième erreur

Voici une erreur-type présentée par un élève de notre groupe.

1.9.1 Présentation

On demande à un élève d'ordonner les éléments suivants du cycle de l'eau en écrivant le chiffre 1 dans les parenthèses placées à la suite du nom de la première étape, le chiffre 2 dans les parenthèses placées à la suite du nom de la seconde étape, le chiffre 3 dans les parenthèses placées à la suite du nom de la troisième étape, le chiffre 4 dans les parenthèses placées à la suite du nom de la quatrième étape et le chiffre 5 dans les parenthèses placées à la suite du nom de la cinquième étape. Il doit, dans le cas où certaines étapes se réalisent en même temps, utiliser pour elles le même chiffre.

Évaporation() Liquéfaction () Infiltration () Solidification () Circulation souterraine () Distillation () Condensation () Nappe-d'eau () Sublimation () Lac () Transpiration () Absorption() Ruissellement () Précipitation ().

L'élève répond à cette question de la manière suivante :

- L'évaporation est la transformation d'un liquide en vapeur par sa surface libre à toute température.

- La précipitation est la chute d'eau provenant de l'atmosphère sous forme de précipitations liquides (pluie, brouillard), solides (neige, grêle).
- La condensation est un déplacement subi par l'eau.
- Le ruissellement est l'écoulement superficiel des eaux de pluies, qui s'opère d'abord en filets ou en nappes avant de se concentrer en rigoles.
- L'infiltration est la pénétration accidentelle de l'eau dans un mur ou une paroi ou tout simplement dans le sol.
- La circulation souterraine est le mouvement effectué par le liquide à travers le sol.
- Le lac est une grande nappe d'eau douce ou (plus rarement) salée, à l'intérieur des terres.
- La nappe d'eau est une étendue d'eau stagnante.

Évaporation(1)Précipitation(3)Condensation(2)Ruissellement(4)Infiltration(4)
Circulation souterraine(4) Lac(5) Nappe d'eau(5).

Le travail de l'élève montre que bien avant de répondre à la question posée, elle définit les concepts à classer alors que cela ne lui est pas demandé. Elle commet une erreur à l'une des définitions. Elle présente condensation comme un «déplacement» alors que la condensation est le phénomène par lequel un gaz, une vapeur diminue de volume et augmente de densité.

Cependant, la classification est correcte. On peut dire que l'élève comprend la structure générale du cycle de l'eau car le choix des éléments est adéquat. La solution montre également que l'élève comprend le phénomène d'évaporation de l'eau, qu'elle saisit le rôle de la transpiration, du ruissellement, de l'infiltration, de la circulation souterraine, du lac, et de la nappe d'eau dans le processus. Cependant, elle réalise une opération qui n'est pas requise et qu'elle

ne maîtrise pas puisqu'elle présente une définition inadéquate de la condensation. C'est en cela que consiste l'erreur.

L'élève commet une erreur parce qu'elle présente une réponse plus élaborée que celle qui lui est demandée. Cette erreur pourrait être attribuée à un écart aux démarches attendues.

2 CLASSEMENT DES ERREURS

Les élèves ont commis un certain nombre d'erreurs-type dont on présente la description dans la partie précédente. Les principales erreurs retrouvées sont classées dans la section suivante.

2.1 Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles

Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles relèvent de la relation entre l'élève et le savoir et découlent de problèmes de démarche didactique.

L'élève de notre groupe commet une erreur portant sur une opération dont la maîtrise est un préalable au calcul de masses volumiques. Il s'agit d'une erreur liée aux opérations intellectuelles disponibles (Astolfi, 1997). Ce type d'erreur s'explique par une anomalie dans les stratégies de divers ordres que l'élève doit mettre en œuvre antérieurement à la résolution de problèmes.

2.2 Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques.

Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques relèvent de la relation au savoir.

L'élève commet une erreur parce qu'elle semble ignorer l'action de facteurs autres que la masse sur l'absorption de chaleur par une substance. Cette erreur pourrait être attribuée à l'existence d'un obstacle épistémologique dans son raisonnement et plus précisément à l'obstacle d'univocité de relations. En effet,

cet obstacle consiste à ne percevoir qu'un seul des facteurs ou variables indépendantes qui agissent sur une grandeur ou variable dépendante.

2.3 Les erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques.

Les erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques relèvent de la relation élève –savoir et découlent de problèmes de démarche didactique.

Cet élève commet une erreur s'expliquant par le fait qu'il produit une réponse dont certains aspects sont faux. En effet, il utilise deux expressions qu'il considère synonymes en lieu et place l'une de l'autre parce que dans le langage courant masse et poids s'emploient indifféremment ,ce qui n'est pas correct. Cet élève produit une réponse fautive parce qu'il confond deux concepts. On peut dire que l'élève commet une erreur liée aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques.

2.4 Les erreurs liées aux difficultés conceptuelles.

Les erreurs liées aux difficultés conceptuelles relèvent de la relation au savoir de l'élève. Comme leur nom l'indique ,elles sont provoquées par des difficultés dans sa compréhension des concepts. Elles méritent toutefois une catégorie particulière car elles présentent certaines particularités reliées à la structure conceptuelle du savoir scientifique.

L'élève ne parvient pas à différencier deux concepts. L'analyse de son texte prouve que c'est parce qu'il ne saisit pas la différence entre ces deux concepts qu'il n'arrive pas à établir les rapports existant entre eux. Cet élève rencontre donc des difficultés conceptuelles au sens de Dumas-Carré et Goffard (1997) au sujet de la chaleur et de la température.

2.5 Les erreurs liées aux obstacles didactiques.

Les erreurs liées aux obstacles didactiques relèvent de l'enseignant. Ces erreurs résultent souvent d'un manque de clarté des explications contenues dans le matériel didactique ou données par l'enseignant.

L'analyse du texte montre que cet élève serait sans doute capable de réussir l'exercice proposé, car il s'exprime de façon claire mais il semble avoir mal interprété une analogie utilisée par l'enseignant et il ne saisit pas les nuances de l'explication présentée. En effet, l'élève ne semble pas avoir réalisé que c'est uniquement pour faciliter la compréhension du concept d'interrogation scientifique que l'enseignant l'a comparé avec la situation initiale d'un texte narratif, concept que les élèves connaissent depuis le primaire.

Par conséquent, on constate que l'analogie utilisée par l'enseignant pour faciliter l'apprentissage, loin de porter les fruits attendus, est devenue une source de confusion pour l'élève. Une erreur de ce type appartient donc à la catégorie des erreurs liées aux obstacles didactiques.

2.6 Les erreurs liées au transfert de techniques

Les erreurs liées au transfert de techniques relèvent principalement de la relation entre l'enseignant et le savoir et découlent de problèmes de transposition didactique.

Cette élève ne parvient pas à réaliser des exercices à partir de notions mathématiques apprises lors d'une année antérieure. Ses lacunes dans cette matière l'empêchent de faire le transfert des techniques apprises dans cette discipline à une autre. On dit qu'il commet des erreurs liées au transfert de techniques.

2.7. Les erreurs liées à la surcharge cognitive.

Les erreurs liées aux états de surcharge cognitive relèvent de la relation entre l'enseignant et l'élève et découlent de problèmes de contrat didactique.

L'élève semble dépassé par la quantité de termes nouveaux qu'il devrait maîtriser et sa mémoire semble déficiente. Une erreur de ce type appartient à la catégorie des erreurs dites de surcharge cognitive.

2.8. Les erreurs liées aux obstacles ontogéniques.

Les erreurs liées aux obstacles ontogéniques relèvent de l'élève. Cet élève du groupe commet une erreur due au fait qu'il ne maîtrise pas une notion étudiée dans une classe antérieure. Il est d'ailleurs le seul de sa classe à être incapable d'effectuer une opération pareille. On dit qu'il commet des erreurs liées aux obstacles ontogéniques.

2.9. Les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues.

Les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues sont liées à la relation élève - savoir.

L'élève commet une erreur parce qu'elle ne saisit pas les divers aspects de son ajout. Ainsi, elle présente une réponse plus élaborée que celle qui lui est demandée et commet ainsi une erreur. Celle-ci peut-être de ce fait attribuée à un écart aux démarches attendues.

Les élèves avaient ainsi commis un certain nombre d'erreurs dont les plus fréquentes pouvaient être regroupées dans les neuf catégories suivantes: les erreurs liées aux obstacles didactiques, les erreurs liées aux obstacles ontogéniques, les erreurs liées à la surcharge cognitive, les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues, les erreurs liées aux obstacles épistémologiques, les erreurs liées au transfert des techniques, les erreurs liées au conflit de

centration résultant de conceptions non scientifiques, et les erreurs se rapportant aux difficultés conceptuelles.

Cependant, cette classification n'a pas semblé être rigoureuse. Certaines erreurs pourraient appartenir à plus d'une catégorie. Ainsi, les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues pourraient être classées dans la catégorie des erreurs résultant des conceptions fausses des élèves puisque la mauvaise qualité ou la faiblesse des prérequis d'un élève à propos d'un contenu pourrait s'expliquer par l'existence de conceptions antérieures fausses à propos de ce contenu. Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques pourraient être classées dans la catégorie des erreurs liées aux difficultés conceptuelles puisque c'est probablement parce que l'élève n'a pas saisi les différents aspects du concept de chaleur (concept dont la construction semble complexe) qu'il produit une réponse incomplète. Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles pourraient être classées dans la catégorie des erreurs liées au transfert de techniques puisque c'est en raison du fait que l'élève semble ne pas avoir maîtrisé des techniques apprises en mathématiques qu'il commet cette erreur.

Parmi ces neuf catégories, sept catégories se sont avérées particulièrement intéressantes pour regrouper des erreurs plus spécifiques à l'apprentissage des sciences physiques. Ce sont les erreurs liées aux obstacles didactiques, les erreurs liées à la surcharge cognitive, les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, les erreurs liées aux obstacles épistémologiques, les erreurs liées au transfert des techniques, les erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques, et les erreurs se rapportant aux difficultés conceptuelles. Ce sont donc celles dont il sera question dans la suite du texte.

Deux de ces sept catégories d'erreurs relèvent principalement de la relation entre l'élève et le savoir. Il s'agit des erreurs liées aux opérations intellectuelles

disponibles et des erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques.

Deux de ces sept catégories relèvent principalement de la relation au savoir. Il s'agit des erreurs liées aux obstacles épistémologiques et des erreurs liées aux difficultés conceptuelles.

Deux de ces sept catégories d'erreurs relèvent principalement de la relation entre l'enseignant et le savoir. Il s'agit des erreurs liées aux obstacles didactiques et des erreurs liées au transfert de techniques.

Une de ces sept catégories d'erreurs relève principalement de la relation entre l'enseignant et l'élève. Il s'agit des erreurs liées à la surcharge cognitive.

3. ANALYSES ET STRATÉGIES D'INTERVENTION

Les sept catégories qui ont été retenues ont été analysées. On a aussi proposé une stratégie d'intervention pour chacune d'elles dans cette partie.

3.1 Les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles

3.1.1. Analyse

L'élève qui a des difficultés en mathématiques est donc sujet aux erreurs liées aux opérations intellectuelles impliquées. C'est le cas de l'élève de notre groupe qui écrit la formule exacte (sciences physiques) mais ne réussit pas la conversion (arithmétique). L'analyse de cette erreur nous porte à poser les questions suivantes. La question était-elle à la portée de l'élève ? L'élève a-t-il maîtrisé pareille opération en arithmétique puisque c'est une technique arithmétique qu'il emploie en sciences physiques ? Le professeur a-t-il vérifié la solidité des prérequis de l'élève sur les techniques mathématiques utilisées en sciences physiques préalablement à l'étude de ce chapitre qui vraisemblablement exploite les connaissances dans une autre discipline de l'élève ?

Il semble que l'élève devrait être en mesure de résoudre ce problème avec succès puisque tous les autres de sa classe y sont parvenus. On suppose dans ce cas que l'item était à la portée de l'élève. Il semble par contre qu'il ait traversé le cycle primaire sans avoir saisi les différentes techniques de la conversion. Il est probable aussi que le professeur ne soit pas parvenu à déceler toutes les difficultés de cet élève en vue de leur traitement par des stratégies appropriées. Il est probable aussi qu'il ne l'ait tout simplement pas vérifié partant du fait que l'élève était en secondaire deux et qu'une révision pareille aurait pu déjà avoir été réalisée en secondaire un. Il faut toutefois préciser que bien des élèves manquent parfois d'attention et de concentration, ce qui cause bien des erreurs puisque l'ajout d'un chiffre ou le déplacement d'un point décimal suffit pour fausser la réponse.

3.1.2. Stratégie d'intervention

Étant donné que cet élève pourrait avoir certaines lacunes en arithmétique mais aussi qu'il pourrait avoir été tout simplement étourdi, ce qui l'aurait peut-être porté à laisser de côté des informations importantes du problème, à omettre certaines données, à placer un chiffre dans une mauvaise colonne, ou à ignorer une colonne lors d'une conversion. Étant donné qu'il semble présenter aussi certains problèmes dans l'organisation d'une solution, on envisage une stratégie prenant en compte tous les aspects de la réalisation d'un problème de sciences tout en mettant l'accent sur la conversion.

De façon générale, il semble important de faire réaliser à l'élève l'importance d'une lecture attentive des exercices et des problèmes, afin d'en noter les informations importantes et les éléments qui peuvent aider à l'établissement d'un cadre de travail exhaustif.

De façon plus spécifique, les objectifs suivants pourraient être visés avec cet élève.

Le premier objectif visé est de parvenir à développer chez ce sujet l'habileté à comprendre le rôle des opérations préalables à la résolution d'une situation problème.

Le second objectif visé est de parvenir à développer chez lui les habiletés qu'il possède déjà. Cela se fait par la présentation à l'élève d'un procédé d'évaluation prévoyant la division des points attribués à la résolution du problème. On alloue une partie de ces points à la première partie du travail qui nécessite la conversion d'une unité à une autre. On attribue la seconde partie des points à la formule. La troisième partie des points revient au résultat obtenu.

Le troisième objectif consiste à développer chez l'élève l'habileté à réaliser des conversions adéquates. On opérationnalise cet objectif en notant les erreurs les plus courantes de l'élève. On donne à l'élève des lectures à réaliser sur la manière de faire une conversion. On lui explique le procédé. On met l'accent sur l'importance de la réalisation des opérations préliminaires à la résolution de problèmes. On lui donne des exercices sur ce même genre d'opérations et on les corrige. On lui présente une autre série d'exercices à résoudre. Puis on lui soumet des problèmes dans lesquels il faut réaliser des opérations préalables de conversion ou des transformations y relatives.

3.2 Les erreurs liées aux obstacles épistémologiques

3.2.1 Analyse

L'erreur de cet élève peut-être attribuée à des difficultés dans la compréhension de la structure du concept de chaleur. Il semble en effet que c'est parce que l'élève ignore que le concept chaleur entretient des rapports avec celui de quantité de chaleur absorbée; que le concept de chaleur absorbée est relié aux concepts de masse, de chaleur massique et de variation de température qu'il commet cette erreur. En d'autres termes, l'élève commet une erreur parce qu'il perçoit le concept de chaleur et les liens qui peuvent être établis avec d'autres concepts de façon trop univoque, ce qui correspond à un obstacle

épistémologique fréquent chez des élèves de ce niveau, l'obstacle de l'univocité des relations. Il est probable que l'élève ne commettrait plus une telle erreur si on lui apprenait à construire les concepts reliés au concept chaleur en lui indiquant les rapports qui existent entre eux.

Cependant, il se peut que l'erreur de l'élève ne trouve pas exactement son origine dans le concept de chaleur mais qu'il le trouve dans des concepts voisins. Comme le dit Agabra (1986), certaines notions concourant à la compréhension d'une notion plus générale entretiennent des rapports avec d'autres qui elles-mêmes suscitent certaines difficultés chez les élèves à cause de leur structure ou de leur histoire. Il est possible que ce soit le cas pour la «quantité de chaleur absorbée» qui est fonction de trois facteurs: elle dépend du concept de masse qui lui soulève de grandes confusions chez un élève par rapport au concept de poids; elle dépend aussi de la chaleur massique qui varie en fonction de la nature du corps; enfin, elle dépend de la variation de la température qui est fonction de la masse de la substance. Le concept de «quantité de chaleur absorbée par une substance» présente ainsi certaines difficultés liées au fait qu'il présente de nombreux rapports avec des concepts voisins qu'il est nécessaire de bien maîtriser.

3.2.2. Stratégie d'intervention

Cet élève semble être en butte à des difficultés liées à la compréhension du concept de chaleur et peut-être à toutes les autres notions qui, si elles sont saisies facilitent la maîtrise d'autres contenus connexes. De ce fait, la stratégie d'intervention comporte trois objectifs:

Le premier objectif est le renforcement d'une habileté que cette élève maîtrise relativement bien, soit la subdivision de son travail en étapes. L'élève doit présenter un exercice en trois étapes: elle doit citer deux facteurs, elle doit expliquer l'action de la variation de la température sur la quantité de chaleur absorbée et elle doit aussi expliquer l'action de la masse de la substance.

Le deuxième objectif est le développement de l'habileté de l'élève à expliquer le rôle d'un facteur dans la production d'un phénomène. On réalise cet objectif en recommandant à l'élève des lectures portant sur les concepts. Celles-ci sont suivies de discussions sur les circonstances de production de la chaleur ainsi que sur les notions de température, de chaleur massique et de masse. On complète l'intervention par une séance de laboratoire qui sert à prendre conscience de l'effet de chacun des facteurs.

Le troisième objectif concerne la prise en compte de l'histoire du concept. L'élève doit réaliser une recherche sur le sujet, ce qui permet de l'initier à la construction du champ conceptuel concerné.

3.3 Les erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques.

3.3.1 Analyse

L'élève commet une erreur liée au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques en considérant deux expressions voisines mais présentant des différences comme synonymes. L'analyse de cette erreur permet de conclure que les conceptions antérieures des élèves semblent être à l'origine de nombreuses difficultés dans l'apprentissage de certains concepts. L'erreur de cet élève du groupe peut ainsi provenir soit des façons habituelles de parler du poids dans le langage courant puisque souvent certains concepts subissent des modifications au contact de l'environnement social de l'élève .ce dernier n'a d'autre choix que de reproduire le schéma présenté par son environnement d'où la formation de sa conception sur ce concept. Elle peut provenir également de la tendance à former une catégorie mentale générale pour tout ce qui concerne la quantité de matière, problème qui serait lié aux étapes de l'élaboration des conceptions.

3.3.2 Stratégie d'intervention

L'élève en question commet des erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques. Il est probable que ses difficultés à différencier deux concepts proviennent de son incapacité à construire une explication et à l'exprimer ou de son incapacité à produire une réponse à partir de notions qu'il maîtrise. Il est probable également que ses difficultés s'expliquent seulement par des problèmes rencontrés lors de la genèse de ses conceptions, et surtout, au dépassement de celles-ci en situation d'apprentissage puisqu'il est porté à réutiliser le mécanisme qu'il devrait dépasser à chaque retour dans son entourage., c'est à dire dans sa famille, à la sortie de l'école et durant les périodes de vacances. On propose dans ce cas la stratégie d'intervention suivante qui pourrait lui assurer des bases plus solides dans le cadre du dépassement de ses conceptions fausses. Elle comporte deux objectifs:

Le premier objectif concerne l'identification, par l'élève, de ses propres conceptions. On lui propose des exercices ayant pour but de lui permettre de s'exprimer, en ses propres mots, au sujet des concepts de masse et de poids.

Le deuxième objectif concerne l'évolution de ses conceptions. Des discussions permettent de faire ressortir des incohérences dans ses explications. Des lectures lui permettent de comparer les concepts de masse et de poids avec les définitions scientifiques de ces termes. Des discussions lui permettent de donner son opinion ou ses commentaires par rapport à ces lectures. Ces activités permettent à l'élève de développer l'habileté à utiliser le vocabulaire scientifique approprié.

3.4. Les erreurs liées aux difficultés conceptuelles

3.4.1. Analyse

L'élève ne démontre pas une compréhension véritable de deux concepts de sciences physiques dans le cadre de la présentation d'un court. texte. Nous

pensons qu'il est probable que le sujet ne parvienne pas à présenter de façon adéquate le texte parce qu'il n'arrive pas à surmonter cette difficulté du concept chaleur en rapport avec sa construction (Agabra, 1986). Il s'ensuit que les concepts chaleur et température, qui sont fort différents et dont les définitions sont aussi fort différentes, lui semblent identiques.

En ce sens, Il est possible que ces deux concepts entretiennent un lien dont la valeur a peut-être été augmentée à un moment donné de l'histoire du concept, ce qui rend la différence entre eux moins évidente. Il est possible aussi que cette erreur soit plutôt en rapport avec le fait que l'élève n'a pas construit chacun des deux concepts. Il est probable aussi que la situation d'apprentissage ne lui a permis de construire que l'un d'entre eux, ce qui expliquerait la confusion par rapport au second. L'erreur pourrait être reliée au mode de présentation des concepts dans le manuel ou à un arrêt de la conceptualisation à un moment donné. En résumé, l'une et l'autre de ces situations ou toutes ensemble peuvent être à un degré ou à un autre des facteurs explicatifs probables de cette erreur.

3.4.2. Stratégie d'intervention

Cet élève semble présenter des difficultés en rapport avec la maîtrise de concepts de sciences. Ces difficultés semblent s'étendre de l'identification du ou des concepts parmi d'autres voisins au lien existant entre certains d'entre eux. Dans le but de lui fournir des outils le rendant apte à effectuer de pareilles opérations, on propose une stratégie d'intervention comportant deux objectifs:

De façon générale, le premier objectif qui concerne la lecture de textes scientifiques, vise le développement de l'habileté à identifier les concepts scientifiques dans une leçon. Des exercices consistant à identifier les concepts importants de divers textes scientifiques, du même niveau que ceux de son manuel, sont proposés à l'élève.

De façon spécifique, le deuxième objectif concerne le lien entre les concepts de chaleur et de température. On lui donne de la lecture sur les concepts de chaleur et de température. Cette séance de lecture est suivie d'une discussion sur les concepts avec l'élève. Des explications sont fournies à l'élève en vue de l'aider à comprendre la différence entre chaleur et température. Des exercices suivent. Une supervision et une évaluation régulières des activités réalisées par l'élève permettent de suivre ses progrès. D'autres travaux sont donnés à l'élève et leur évaluation régulière suit. Enfin, on rencontre régulièrement l'élève en difficulté en vue de lui faire part de ses progrès dans la maîtrise de la matière.

3.5 Les erreurs liées aux obstacles didactiques.

3.5.1 Analyse

L'élève commet une erreur liée aux obstacles didactiques parce qu'il ne comprend pas une analogie utilisée par le professeur dans le cadre d'une explication. L'erreur de l'élève semble se rapporter à une fausse interprétation d'une explication fournie par l'enseignant. Il convient de s'interroger sur les causes probables de cette erreur. En ce sens, les questions toucheront aussi bien l'acte d'apprentissage que l'acte d'enseignement.

L'erreur de l'élève peut-elle objectivement s'expliquer par une confusion ? Ne peut-on pas la comprendre comme la réalisation inadéquate d'un transfert par l'élève ?

L'élève avait-il réellement compris le concept antérieur constituant le point de départ de l'explication de l'enseignant ?

L'enseignant pris par son sujet a-t-il mis en garde l'élève contre l'usage abusif de l'analogie ? A-t-il eu le temps de vérifier que l'analogie correspondait au niveau mental de l'élève ?

La cause probable de cette erreur pourrait être une confusion .Elle pourrait être aussi causée par un transfert pour lequel le modèle mental aurait été inadéquat.

Cette erreur pourrait s'expliquer aussi par le fait que l'élève ne disposait pas encore de l'habileté permettant de réaliser une rédaction ni des principes de la réalisation d'un tel exercice. Il est probable également que l'élève n'ait pas compris l'analogie ou que l'enseignant ne lui ait pas expliqué le contexte de son utilisation. De toute évidence, il semble qu'il soit simpliste de considérer la confusion comme unique cause de cette erreur. Il serait plus réaliste de l'imputer soit à la technique d'enseignement employée, soit à la valeur des préalables de l'élève, soit à la capacité de ce dernier à utiliser ses préalables dans d'autres domaines.

3.5.2. Stratégie d'intervention

Par définition, une stratégie d'intervention visant à prévenir ou à corriger les erreurs liées aux obstacles didactiques concerne surtout les auteurs des programmes d'étude et des manuels scolaires, ainsi que les enseignants.

Par exemple, tout programme d'études devrait, dans la mesure du possible, tenir compte des intérêts des élèves, des caractéristiques du milieu culturel et social où se situe l'école, de la diversité ethnique et culturelle des élèves ainsi que des intérêts, du temps, et des besoins des enseignants, ce qui rendrait ce programme plus facile à interpréter et à transmettre. Les mêmes principes devraient guider la conception et la rédaction des manuels scolaires, qui devraient aussi être le plus vivants et le plus clairs possible. Par ailleurs, il serait important que le niveau de langage employé par l'enseignant dans la présentation des notions, des définitions et des concepts ne soit pas trop éloigné de celui des élèves, afin d'éviter les fausses interprétations et les confusions. L'enseignant devrait également être prudent dans le choix des analogies utilisées et éviter les tournures qui orientent la pensée vers des réflexions éloignées du sujet.

Ceci dit, l'élève peut toutefois réduire le risque de commettre des erreurs liées aux obstacles didactiques en augmentant la quantité de sources d'information et de points de vue au sujet des concepts d'un cours. Dans le cas du concept

d'interrogation du cours d'Initiation aux sciences physiques, nous avons donc suggéré à l'élève de bien écouter les explications, analogies et exemples présentés par son enseignant, mais de s'assurer également d'avoir lu son manuel et son cahier de laboratoire, qui présentent les choses de façon différente. Nous lui avons également suggéré de discuter des notions d'interrogation et d'hypothèse avec les autres élèves de son groupe, pour qu'il connaisse leur interprétation de ces concepts. Nous lui avons finalement suggéré des exercices visant à formuler les interrogations d'expérimentations portant, par exemple, sur les concepts de mélange homogène et mélange hétérogène, de composition d'un mélange, de masse volumique des solutions, de chaleur et de température et de chaleur massique. écouter les explications, analogies et exemples présentés par son enseignant, mais de s'assurer également d'avoir lu son manuel et son cahier de laboratoire, qui présente les choses de façon différente. Nous lui avons également suggéré de discuter des notions d'interrogation et d'hypothèses avec les autres élèves de son groupe, pour qu'il connaisse leur interprétation de ces concepts. Nous lui avons finalement suggéré des exercices visant à formuler les interrogations d'expérimentations portant, par exemple, sur les concepts de mélange homogène et mélange hétérogène, de composition d'un mélange, de masse volumique des solutions, de chaleur et de température et de chaleur massique.

3.6 Les erreurs liées aux transferts de techniques

3.6.1 Analyse

Dans le cas qui nous concerne, l'élève effectue un raisonnement qui présente deux erreurs. Ces dernières ont été reliées au transfert de techniques. Si on se rapporte aux sept étapes de Tardif (1999) pour réaliser le transfert des apprentissages, on peut dire qu'il est possible que l'élève réalise la première étape, mais qu'elle ne réussit pas la deuxième étape consistant à élaborer un modèle mental car elle ne détermine pas les connaissances dont elle a besoin, c'est à dire les axes et leur position dans un graphique, pour résoudre la situation cible. Il se peut aussi que le modèle exécuté soit incomplet. Elle ne parvient pas non plus à une réalisation adéquate de la troisième étape, qui devrait la conduire à rechercher, dans sa mémoire à long terme, les

connaissances et compétences applicables à la résolution du problème. Il se peut aussi qu'elle réalise partiellement ce processus parce que son raisonnement lui fait comprendre que les opérations préliminaires d'une courbe en mathématiques sont les mêmes que celles utilisées en sciences physiques. Mais il est probable qu'elle ne cherche pas à savoir s'il s'agit d'un cas de transfert. Elle exécute partiellement la quatrième étape, parce qu'elle sait qu'il y a de nombreux points communs entre les situations qu'elle connaît, en mathématiques, et le problème de sciences physiques qu'elle doit résoudre. Par contre, elle ne sait pas quelle voie choisir : doit-elle procéder à des adaptations légères? doit-elle faire des changements importants? la tâche cible et la tâche source sont-elles identiques? Elle ne semble pas le savoir. Finalement, elle ne réalise pas les trois dernières étapes. On peut finalement conclure à l'éventualité d'un cas de transfert incomplet, réalisé sans encadrement professoral par une élève qui ne dispose probablement pas de toutes les capacités métacognitives nécessaires pour le réussir seule.

3.6.2 Stratégie d'intervention

Cet élève commet des erreurs liées aux transferts de techniques mathématiques utilisées en sciences physiques. Dans ce cas, il s'agit de courbes mathématiques. Toute aide apportée à cet élève devrait, pour avoir le plus de chances d'être efficace, apprendre à l'élève à tracer une courbe et traiter des façons d'identifier les caractéristiques des courbes employées en mathématiques et en sciences physiques ce qui lui aurait permis d'effectuer habilement le transfert. Mais, elle devrait porter aussi sur les façons d'aider l'élève à maîtriser toutes ces techniques empruntées par les sciences aux mathématiques. Dans un tel cas, la stratégie d'intervention comporte deux objectifs.

Le premier objectif concerne le développement de l'habileté à distinguer les ressemblances et les différences entre les graphiques utilisés en mathématiques

et les graphiques utilisés en sciences physiques. Plusieurs tracés de courbes, en mathématiques et en physiques, sont proposés à l'élève.

Le deuxième objectif concerne l'apprentissage d'une technique de transfert. Les grandes étapes du transfert sont présentées et expliquées, et on propose à l'élève des exercices lui permettant de réaliser, sous encadrement, le transfert de diverses techniques mathématiques, telles que la manipulation de fractions, la règle de trois et la solution d'équations à une inconnue, particulièrement utiles pour la réussite du cours d'Initiation aux sciences physiques.

3.7 Les erreurs liées à la surcharge cognitive

3 7.1 Analyse

L'élève commet des erreurs liées au fait qu'il semble dépassé par la quantité de termes nouveaux qu'il devrait maîtriser et sa mémoire semble déficiente. Par ailleurs, l'étude du fonctionnement de la mémoire autorise à croire que la mémoire subit quelquefois une défaillance et ne parvient pas à répondre aux stimuli. Elle se trouve alors submergée, ce qui cause des oublis plus ou moins importants. Considérées sous cet angle, les mécanismes du fonctionnement de la mémoire constituent un cadre de référence qui nous semble adéquat pour étudier l'erreur de l'élève qui est susceptible de s'expliquer soit par un problème de la mémoire à long terme, soit par un problème de la mémoire de travail.

Dans le premier cas, l'erreur peut être envisagée sous l'angle de son lien avec la multiplicité de tâches. L'activité proposée lui impose en effet de se préoccuper de plusieurs tâches différentes. Il doit rechercher des idées, construire des paragraphes et appliquer la syntaxe. Il doit en plus veiller à l'orthographe des mots scientifiques. Une activité aussi complexe sollicite constamment sa mémoire de travail et une défaillance de cette partie de la mémoire pourrait expliquer l'apparition d'erreurs dans l'orthographe des mots scientifiques employés par le sujet. En ce sens, il faut se demander comment réduire les tâches à l'essentiel nécessaire pour les apprentissages visés.

Dans le second cas, l'erreur peut être envisagée par rapport à la technique qu'emploie la mémoire pour assimiler et récupérer les mots scientifiques nouveaux. Pour qu'un concept soit rangé dans un réseau sémantique, ou classé par association, certaines mises en place sont nécessaires. L'absence d'informations spécifiques reliées à un terme nouveau ou la présence d'informations incomplètes ou erronées peuvent l'empêcher de fonctionner correctement. En ce sens, il faut particulièrement s'interroger sur le niveau de connaissance que l'élève a du concept, le nombre d'occasions qu'on lui offre d'améliorer ses connaissances sur le concept, la possibilité qu'il a de réaliser des expériences sur la question, la compatibilité du concept avec le contenu antérieur de sa mémoire et les possibilités de consolidation du concept dans son cadre de pensée.

3.7.2 Stratégie d'intervention

la mémoire représente ainsi une fonction fondamentale qui peut, à certains moments, être incapable de répondre à certaines sollicitations. La stratégie d'intervention la plus appropriée devrait viser à la préserver et à augmenter sa performance. Elle comporte deux objectifs.

Le premier objectif concerne la réduction de la sollicitation de la mémoire de travail. Cette réduction peut s'obtenir en simplifiant la tâche, par exemple en n'exigeant pas d'introduction ni de conclusion. Elle peut aussi s'obtenir en lui suggérant des techniques de lecture de textes scientifiques. On lui a recommandé par exemple, de souligner les mots scientifiques et de les écrire à plusieurs reprises.

Le deuxième objectif concerne une amélioration du fonctionnement de la mémoire à long terme. Quelques extraits de documents vidéoscopiques sur les changements d'état ont été présentés à l'élève. On lui a également recommandé des lectures sur le sujet. Les présentations de vidéo et les lectures ont été

suivies de séances de discussion, qui lui ont permis d'utiliser les nouveaux termes dans divers contextes.

CHAPITRE SIX

CONCLUSION

La présente recherche, d'orientation constructiviste, s'appuyait sur le principe que les erreurs des élèves peuvent constituer des outils pour l'enseignement et l'apprentissage. Elle portait sur l'analyse de quelques erreurs d'apprentissage rencontrées par les élèves dans le cadre du premier cours de physique du secondaire.

Nous nous posons les questions suivantes:

1- Quelles sont les erreurs commises par quelques élèves de deuxième année du secondaire dans le cadre d'un cours d'Initiation aux sciences physiques?

2- Comment peut-on analyser ces erreurs à la lumière des caractéristiques ou des propriétés de diverses catégories?

3- Y-a-t-il des stratégies d'intervention permettant à ce petit groupe d'élèves de surmonter les erreurs identifiées et analysées?

Plusieurs séances de travail avec des élèves ayant des difficultés dans le cours d'Initiation aux sciences physiques permirent de découvrir que leurs erreurs les plus fréquentes pouvaient être regroupées dans les neuf catégories suivantes: les erreurs liées aux obstacles didactiques, les erreurs liées aux obstacles ontogéniques, les erreurs liées à la surcharge cognitive, les erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues, les erreurs liées aux obstacles épistémologiques, les erreurs liées au transfert des techniques, les erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques, et les erreurs se rapportant aux difficultés conceptuelles.

Parmi ces neuf catégories d'erreurs, certaines ont été plus faciles à insérer dans des catégories que d'autres à cause de certaines de leurs caractéristiques : type

d'exercice dans lesquels on dénote sa fréquence, lien évident entre ses caractéristiques et celles présentées par Astolfi(1997) dans sa classification. D'autres erreurs semblent avoir des répercussions plus significatives sur les apprentissages futurs de l'élève. Ce sont les erreurs liées au conflit de centration résultant des conceptions non scientifiques, les erreurs liées au transfert de techniques , les erreurs liées aux obstacles épistémologiques et les erreurs liées aux difficultés conceptuelles Ce sont les erreurs liées à la surcharge cognitive , les erreurs liées aux transferts de techniques et les erreurs liées aux obstacles didactiques. Quelques unes se retrouvent beaucoup plus souvent dans d'autres matières. Ainsi, en agissant sur les apprentissages en sciences physiques de l'élève, les probabilités d'exercer une influence positive sur les apprentissages de l'élève dans toutes les autres matières sont probablement élevées. Ce sont principalement les erreurs liées au transfert de techniques. Pour quelques unes, on est en mesure de trouver une solution didactique alors que ce n'est pas le cas pour les erreurs liées aux obstacles ontogéniques pour lesquelles une solution d'ordre psychopédagogique serait peut-être plus appropriée.

Pour les erreurs liées aux écarts aux démarches attendues ,on peut utiliser des solutions moins élaborées telles la vérification et la consolidation des prérequis avant d'aborder la matière nouvelle, la motivation de l'élève à utiliser seulement les solutions de son cru dans les cas où il ne parvient pas à trouver de solution.

D'autres erreurs sont plus fréquentes que les autres dans les travaux du même élève. Il s'agit des erreurs liées au transfert de techniques et les erreurs liées à la surcharge cognitive.

Partant de ces différentes prémisses, sept des neuf catégories se sont avérées particulièrement intéressantes pour regrouper les erreurs spécifiques à l'apprentissage des sciences physiques. Une de ces sept catégories relève de la relation enseignant-élève. Il s'agit des erreurs liées à la surcharge cognitive, Une de ces sept catégories relève de l'enseignant. Ce sont les erreurs liées aux

obstacles didactiques. Une de ces sept catégories relève de la relation enseignant-savoir. Il s'agit des erreurs liées au transfert de techniques. Deux de ces sept catégories relèvent de la relation au savoir de l'élève. Ce sont les erreurs liées aux obstacles épistémologiques et les erreurs liées aux difficultés conceptuelles. Deux de ces sept catégories relèvent de la relation élève-savoir. Il s'agit des erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles et des erreurs liées au conflit de centration résultant de conceptions non scientifiques.

Il semble, par ailleurs, que ces différentes erreurs peuvent être la manifestation de plusieurs causes. Ces dernières peuvent être le degré de difficulté de l'item, la faiblesse des prérequis ou l'absence de leur vérification par l'enseignant, les difficultés d'apprentissage propres à un élève dans la construction des concepts ou la maîtrise de concepts voisins du concept principal à l'étude. Elles peuvent provenir également des conceptions fausses ou de leur élaboration, d'une confusion, de l'opacité de manuels utilisés ou de la mésinterprétation d'analogies ou encore d'explications fournies par l'enseignant, de difficultés dans la réalisation d'un transfert de techniques, des troubles de la mémoire et des obstacles didactiques et épistémologiques. Le manque d'attention et de concentration de l'élève, la mauvaise organisation du travail et des troubles du développement de l'élève représentent également d'autres causes d'erreurs.

Des stratégies d'interventions comportant des lectures, des exercices et, dans certains cas, du travail de laboratoire, ont été élaborées et appliquées avec les élèves qui commettaient l'une ou l'autre de ces sept erreurs. Ces stratégies d'intervention ont été très efficaces dans le cas des erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques et des erreurs liées au transfert de techniques. Elles ont été relativement efficaces dans le cas des erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, des erreurs liées aux obstacles épistémologiques, des erreurs liées aux difficultés conceptuelles et des erreurs liées à la surcharge cognitive. Elles ont été peu efficaces dans le cas des erreurs liées aux obstacles didactiques.

Étant donné le petit nombre d'élèves avec lequel nous avons travaillé, nous ne pouvons évidemment pas généraliser nos observations à l'ensemble des élèves du cours d'Initiation aux sciences physiques du Québec. Toutefois il semble bien, comme la littérature sur le sujet nous avait permis de le croire, que le fait d'analyser les erreurs des élèves sous l'angle des principales relations auxquelles s'intéresse la didactique des sciences, ainsi que le fait de concevoir des stratégies d'interventions selon ce modèle, permettent souvent aux élèves de faire de réels progrès.

BIBLIOGRAPHIE

- Agabra, J. (1986). «*Échanges thermiques*». Aster, 2.
- Arénilla, L., Gossot, B., Rolland, M.C., Roussel, M.P. (1996). *Dictionnaire de pédagogie*. Paris : Éditions Larousse Bordas.
- Astolfi, J.P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : Les Éditions ESF.
- Astolfi, J.P. (1994). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF, collection Pédagogies.
- Astolfi, J.P. (1990). «*L'émergence de la didactique de la Biologie, un itinéraire*». Aster, 11, 195-224.
- Astolfi, J.P. (1986). «*La didactique, c'est prendre des distances avec la pratique... pour mieux y revenir*». EPS Contenus et Didactique. Actes du Colloque. Paris : SNEP.
- Astolfi, J.P. (1986). «*Deux sortes de savoirs*». Cahiers Pédagogiques, 244-245.
- Astolfi, J.P., Cauzinille-Marmèche, E., Giordan, A., Henriques-Christophidès, A., Mathieu, J., Weil-Barais, A. (1984). *Expérimenter*. Toulouse : Éditions Privat.
- Astolfi, J.P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. Paris, Bruxelles : De Boeck et Larcier.
- Astolfi, J.P. et Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. 5^e édition. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

- Badet, M. (1989). «Apprendre par «cœur». In N. Zavaloff, R. Jaffard, Benoît, P (dir.), *La Mémoire* (Tome 1), (p. 115-123). Paris : Éditions L'Harmattan, collection Conversciences.
- Barth, B.M. (1993). *Le savoir en construction. Former à une pédagogie de la compréhension*. Paris : Éditions Retz.
- Barth, B.M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction. Méthode pour une meilleure réussite de l'école*. Paris : Éditions Retz.
- Baruk, S. (1977). *Fabrice ou l'école des mathématiques*. Paris : Éditions du Seuil.
- Baruk, S. (1973). *Échec et maths*. Paris : Éditions du Seuil.
- Bassok, M., Holyoak, K.J. (1989). «Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics». *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 153-166.
- Bastien, C. (1987). *Schémas et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*. Paris : PUF.
- Batisse, J.B. (1996). «Apprendre à transférer». In P. Meirieu et M. Develay (dir.), *Le transfert des connaissances en formation initiale et en formation continue* (p. 91-92). Actes du colloque organisé à l'Université de Lyon 2, du 29 septembre au 2 octobre 1994. Lyon : Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie de Lyon.
- Baumgartner, P. (1976). *101 conseils pour retrouver et développer la mémoire*. Paris : Hachette.
- Bélanger, M. (1991). *Les erreurs en arithmétique, un siècle de présomption américaine*. Traduction de l'anglais par Louise Poirier. Montréal : Université du Québec à Montréal.

- Bernier, J.J. (1985). *Théorie des tests. Principes et techniques de base*. Québec : Gaëtan Morin éditeur. Deuxième Édition.
- Blouin, Y. (1986). *Réussir en sciences*. Rapport de recherche. Sillery : Collège François-Xavier-Garneau. Recherche effectuée grâce à la subvention du programme PROSIP de la DGEC du MEQ.
- Boutin, G. (1997). *L'entretien de recherche qualitatif*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : Éditions La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1986). *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1983). «Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4(2), 165-198. Bordeaux : Université de Bordeaux 1.
- Burrows, J.K. (1976). *A Review of the Literature on Computational Errors with Whole Numbers*. Vancouver : The University of British Columbia, Mathematics Education Diagnostic and Instructional Centre.
- Carman, N. (1997). *Français*. Première secondaire. Manuel de base. Canada : Éditions Lidec.
- Castiglioni-Arnaud, R., Pancrazi-Boyer, M.P., Michel, B., Combet, P. (1995). *La mémoire qui flanche*. Marseille : Éditions Solal.
- Cauzinille-Marmèche, E., Mathieu, J., Weil-Barais, A. (1983). *Les savants en herbe*. 2^e édition. Collection Exploration Recherches en sciences de l'éducation. Éditions Peter Lang.

- Charnay, R. (1986). «L'erreur dans l'enseignement des mathématiques». *Rencontres pédagogiques*, 9-32. France : INRP, Presses de L'Imprimerie Bialec.
- Chauchard, P. (1970). *Connaissance et Maîtrise de la mémoire*. Paris : Collection Marabout service.
- Chevellard, Y. et Joshua, M.A. (1991). *La transposition didactique*. Paris : Éditions La Pensée Sauvage.
- Chomat, A. et Sere, M.G. (1983). «Analyse de l'influence d'activités de classe sur les représentations des élèves. Exemple : l'enseignement de la pression atmosphérique en 6^e». In A. Giordan et J.L. Martinand (dir.), *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales* (p. 447-452). Paris : Cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique.
- Cornu, L. et Vergnioux, A. (1992). *La didactique en question*.
- Costa, N., Bris, M.F., Valentin, D. (1986). «La difficulté en mathématiques : un exemple dans un CE₁». *Rencontres pédagogiques*, 12, 69-83. Paris : INRP, Presse de l'Imprimerie Bialec.
- Couchaère, M.J. (1989). *Atout Mémoire*. Paris : Éditions Nathan.
- Cox, L.S. (1974). *Analysis, Classification and Frequency of Systematic Error Computation Patterns in Addition, Substraction, Multiplication, and Division Vertical Algorithms for Grades 2-6 and Special Education Classes*. Kansas City : University of Kansas Medical Center.
- Danvers, F. (1992). *700 mots clefs pour l'éducation*. France : Presses universitaires de Lille.
- De Vecchi, G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette Éducation.

- Delannoy, C. (1994). *Une mémoire pour apprendre*. Paris : Éditions numéro 2, collection Hachette Éducation.
- Demers, M. (1995). *La diffusion et l'enseignement des sciences à leur mieux*. Québec : Les Éditions Hélio Inc.
- Desautels, J. (1980). *École + Science = Échec*. Québec : Québec Science Éditeur/Les Presses de l'Université du Québec.
- Desautels, J. et Lauzon, B. (1988). «Comment aider l'élève à surmonter les représentations préopératoires lorsque l'objet scientifique doit contredire un passé». *Spectre*, 18(1), 40-44. Québec : Éditions Art Graphique Inc.
- D'Hainault, L. (1988). *Des fins aux objectifs de l'éducation*. Bruxelles : Éditions Labor.
- Driver, R. (1989). «Student's conceptions and the learning of science». *International Journal of Science Education*, 1(5), 481-490.
- Droz, R. et Rahmy, M. (1974). *Lire Piaget.*. Bruxelles : Charles Dessart éditeur, collection Psychologie et Sciences Humaines, 2^e édition.
- Dumas-Carré, A. et Caillot, M. (1987). *Résolution de problèmes et apprentissage de la physique des didactiques et acquisition des connaissances scientifiques* (p. 217-227). Actes du colloque de Sèvres. France : Éditions La Pensée sauvage.
- Dumas-Carré, A. et Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. Paris : Éditions Masson et Armand Colin.
- Dumas-Carré, A., Goffard, M., Gil, P.D. (1992). «Difficultés des élèves aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes». *Aster*, 14, 54-75. Paris.
- Fabre, M. (1995). *Bachelard, éducateur*. Paris : PUF, 1^{ère} édition.

- Gentilhomme, Y. (1982). «Lecture d'un texte scientifique : Introduction». *Pratiques*, 35. Metz : CRESEF.
- Giordan, A. (1994). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Suisse : Peter Lang, S.A. Éditions scientifiques européennes.
- Giordan, A. (1993). «Les conceptions des élève». In J. Houssaye (dir.), *La pédagogie: une encyclopédie pour aujourd'hui* (p. 259-274). Paris : Éditions ESF, collections Pédagogies.
- Giordan, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion/Formation, collection «Paidoguides».
- Giordan, A. et de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des élèves aux concepts scientifiques*.
- Giordan, A. et Martinand, J.L. (1986). *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique*. Synthèse réalisée par Viviane Vuilleumier à partir des Actes des Sixièmes Journées internationales sur l'Éducation scientifique, sous la responsabilité scientifique de Paris, Genève. A. Giordan et J.L. Martinand, éditeurs.
- Glaeser, G. (1984). «À propos des obstacles épistémologiques réponse à Guy Brousseau». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 5(2), 233-250. Strasbourg : Université Louis Pasteur.
- Glaeser, G. (1981). «Épistémologie des nombres relatifs». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 2(3), 303-346. Strasbourg : Université Louis Pasteur.
- Gobert, D., Gorlier, S., Gouardères, M., Leboursicot, D., Perrot, G., Ragot, A. (1986). «Les ateliers». *Rencontres Pédagogiques*, 12, 95-118. France : INRP, Presses de l'Imprimerie Bialec.

- Guay, S. et Lemay, S. (1994). *Mathématiques 2^e secondaire*. Guide d'enseignement des scénarios. Québec : Éditions HRW.
- Guesne, E., Tiberghien, A., Delacote, G. (1978). «Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples: les notions de chaleur et lumière». *Revue française de pédagogie*, 45, 25-32.
- Houssaye, J. (1993). *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : Éditions ESF, collection Pédagogies.
- Huynen, A.M. (1983). *Observer la progression dans l'acquisition de la démarche scientifique*. Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales ? Cinquièmes Journées Internationales sur l'Éducation scientifique (p. 479-485). A. Giordan et J.L. Martinand éditeurs.
- Joshua, S. et Dupin, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF, collection Premier Cycle.
- Laborde Vergnaud, G. (1994) In G. Vergnaud (dir.), *Apprentissage et didactique, où en est-on ?* (p. 71). Paris : Hachette Éducation.
- Lamoureux, A., Archambault, J.P., Berthiaume, F., Fréchette, N. (1992). *Une démarche scientifique aux sciences humaines*. Québec : Éditions Études Vivantes.
- Lapointe, Y.G. (1988). *Erreurs reliées à la résolution de problèmes de physique chez des élèves de 5^e année du secondaire*. Thèse de doctorat, Université de Montréal.
- Larochelle, M. et Désautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science*. Québec : Les Presses de l'Université Laval.

- Larochelle, M. et Désautels, J. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ?* Québec : Les Presses de l'Université Laval.
- Lave, J. (1977). *Arithmetic Practice and Cognitive Theory*. New-York : Cambridge University Press.
- Legendre, M.F. (1995). «Analyse d'une activité d'apprentissage en physique à l'aide du modèle de l'équilibration». *Revue des sciences de l'éducation*, XXI(3), 473-503.
- Legendre, M.F. (1995). *Transposition didactique et réflexion épistémologique*. 24(3), 9-15. Québec : Éditions Graphique couleur.
- Legendre, M.F. (1994). «Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire: un état de la question». *Revue des sciences de l'éducation*, XX(4), 657-677.
- Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. 2^e édition. Montréal : Éditions Guérin.
- Lessart-Hébert, M., Goyette G., Boutin, G. (1996). *La recherche qualitative*. Québec : Éditions Nouvelles AMS.
- Lieury, A. (1989). «Le traitement des images en mémoire». In N. Zavaloff, R. Jaffard et P. Benoît (dir.), *La Mémoire* (Tome 1) (p. 95-104). Paris : Éditions L'Harmattan, collection Conversciences.
- Lieury, A. (1993). *La mémoire du cerveau à l'école*. France : Flammarion. 2^e édition.
- Lieury, A. (1992). *La mémoire. Résultats et théories*. Liège : Éditions Pierre Mardaga.
- Lieury, A. (1990). *Manuel de Psychologie Générale*. Paris : Bordas.

- Loftus, É. (1983). *La mémoire*. Traduit de l'anglais par Yacopoulo Andrée. Québec : Éditions Le Jour, Division de Sogides Itée.
- Lowar, L. (1976). *Comment développer la mémoire*. Paris : Éditions De Vecchi. S. A. Traduction W. Boglioli.
- Mace, G. (1992). *Guide d'Élaboration d'un projet de recherche*. Québec : Presses de l'Université Laval.
- Martinand, J.L. (1989). «Le point de vue d'un physicien: pensée scientifique et pédagogique en sciences expérimentales». *Repères*, 55, 77-86.
- Martinand, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Bernes : Éditions Peter Lang, collection Exploration Recherches en sciences de l'éducation.
- Meirieu, P. et Develay, M. (1994). *Le transfert de la connaissance en formation initiale et en formation continue*. Paris : Centre Régional de Documentation pédagogique de l'Académie de Lyon.
- Meirieu, P. et Develay, M. (1992). *Émile, reviens vite, ils sont devenus fous*. Paris : Éditions ESF.
- Meirieu, P. et Grangeat, M. (1997). *La métacognition, une aide au travail des élèves*. Paris : Éditions ESF.
- Mendelsohn, P. (1996). «Le concept de transfert». In P.Meirieu et M. Dévelay (dir.) en collaboration avec C. Durand et Y. Mariani, *Le transfert des connaissances en formation initiale et en formation continue* (p.11-19). Actes du Colloque organisé à l'Université de Lyon 2, du 29 septembre au 2 octobre 1994. Lyon : Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie de Lyon.
- Milhaud, N. (1980). *Le comportement des maîtres face aux erreurs des élèves*. Mémoire de maîtrise. Université de Bordeaux.

- Ministère de l'Éducation du Québec (1987). *Programme d'études de sciences physiques. Secondaire. Environnement physique*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation du Québec (1984). *Formule d'aide à l'élève qui présente des difficultés au secondaire*. Bilan fonctionnel et plan d'action. Québec : Gouvernement du Québec.
- Morin, M. (1997). «Apprentissage au laboratoire». *Spectre*, 27, 26-33. Québec : Éditions Arthabaska inc.
- Morissette, D. (1984). *La mesure et l'évaluation en enseignement*. Sainte-Foy, Québec : Presses de l'Université Laval.
- Nadeau, M.A. (1998). *L'évaluation de programmes- théorie et pratique*. Québec : Les Presses de l'Université Laval.
- Neyret, R. (1986). «Situations didactiques d'apprentissage de la division, cas des élèves en erreur». *Rencontres pédagogiques*, 12, 33-35. France : INRP, Presses de l'Imprimerie Bialec.
- Paccaud, M. (1991). «Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration». *Aster*, 13, 35-91.
- Paradis, R. (1989). «Les sciences physiques de deuxième secondaire. Réflexion sur la démarche scientifique». *Spectre*, 18(4), 34-36. Québec : Éditions Art Graphique.
- Pea, R.D. (1987). «Socializing the knowledge transfer problem». *International Journal of Educational Research*, 11(6), 639-663.
- Perret-Clermont, A.N. (1986). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Éditions Peter Lang, collection Exploration Recherches en sciences de l'éducation.

- Perrot, G. et Ragot, A. (1986). «L'enfant et la difficulté en mathématique». *Rencontres pédagogiques*, 12, 57-83. France : INRP, Presses de l'Imprimerie Bialec.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives*. Paris : PUF.
- Piaget, J. (1970). *L'épistémologie génétique*. Paris : PUF, collection Que sais-je ?
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. Paris : Éditions Denoël.
- Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique*. Paris : PUF.
- Postic, M. et De Ketele, J.M. (1988). *Observer les situations éducatives*. Paris : PUF.
- Poupart, Deslauriers, Groulx, Laperrière, Mayer, Pires (1997). *La recherche qualitative*. Groupe de recherche interdisciplinaire sur les méthodes qualitatives. Québec : Éditions Gaëtan Morin.
- Presseau, A. (1998). *Le transfert des connaissances en mathématiques chez des élèves de première secondaire : le rôle des interventions et des interactions sociales*. Thèse de doctorat, Université de Montréal.
- Quessy, N. et Schepper, C. (1987). *Éléments de sciences physiques*. Québec : Les Éditions HRW Ltée, 2^e édition.
- Ragot, A. (1986). «Les erreurs en mathématiques, les entretiens». *Rencontres pédagogiques*, 12, 85-93. France : INRP, Presse de l'Imprimerie Bialec.
- Raynald, F. et Rieunier, A. (1997). *Pédagogie : dictionnaire des concepts-clés*. Paris : Éditions ESF, collection Pédagogies.
- Reason, J.(1993). *L'erreur humaine*. Paris : PUF. Traduction française de *Human Error* par Jean-Michel Hoc.

- Resnick, L. (1989). «Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique». In N. Bednarz et C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs. Obstacles et conflits* (p. 103-109). Montréal : CIRADE et Agence d'Arc inc.
- Resnick, L. (1982). *A New Conception of Mathematics and Science Learning*. University of Pittsburgh, Learning Research and Development Center.
- Rey, B. (1998). *Les compétences transversales en question*. Paris : Éditions ESF.
- Richard, J.F. (1990). *Les activités mentales*. Paris : Éditeur Armand Colin.
- Roberge, G. (1996). *Éléments des sciences physiques*. Guide d'enseignement 2^e secondaire. Québec : Éditions HRW Itée, 3^e édition.
- Roberge, G. (1996). *Éléments des sciences physiques*. Manuel de l'élève 2^e secondaire. Québec : Éditions HRW Itée, 2^e édition.
- Roberge, G. (1987). *Éléments des sciences physiques*. Guide de l'enseignant(e) 2^e secondaire. Québec : Éditions HRW Itée, 2^e édition.
- Rumelhard, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Éditions Peter Lang.
- Saint-Laurent, R. et Suquet, M. (1987). «Notions de sciences physiques, cours et illustration». *Spectre*, 16(3), 61 et 62. Québec : Éditions Art Graphique.
- Salem, L. (1990). *Le Dictionnaire des Sciences*. France : Hachette.
- Sanner, M. (1999). *Modèles en conflit et stratégies cognitives*. Belgique : De Boeck & Larcier s.a., collection Perspectives en éducation
- Serres, M. (1991). *Le tiers instruit*. Paris : François Bourrin.
- Serres, M. (1994). *Le tiers instruit*. Paris : François Bourrin.

- Sierpinska, A. (1995). *La compréhension en mathématiques*. Traduction de l'anglais par Pierrette Mayer. Collection La Spirale. Québec : Éditions Modulo.
- Simard, P.A. et Cen, Y. (1989). *Préconceptions relatives aux aimants*, 19(2), 29. Québec : Édition Art Graphique.
- Strike, K.A. et Posner, G.J. (1982). «Conceptual change and science teaching» *European Journal of Science Education*, 4(3), 231-240.
- Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Canada : Les Éditions Logiques.
- Thouin, M. (1998). «L'évaluation d'un curriculum scientifique : l'apport de la didactique». *Spectre*, 27(4), 10-21.
- Thouin, M. (1997). *La didactique des sciences de la nature au primaire*. Québec : Les Éditions Multimondes.
- Thouin, M. (1996). *Les conceptions des élèves et les activités d'apprentissage en sciences de la nature au primaire*. Montréal : Les Publications de la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université de Montréal. Rapport de recherche n° 043.
- Thouin, M. (1989). «Typologie des représentations en sciences physiques chez les élèves du secondaire». *Revue des sciences de l'éducation*, 15(2), 247-266.
- Thouin, M. (1985). «Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes». *Revue des sciences de l'éducation*, 9(2), 247-258.
- Tiberghien, A. (1989). «Erreurs dans l'apprentissage de la physique: la structuration du monde matériel en physique et dans la vie quotidienne». *In*

- N. Bednarz et C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs. Obstacles et Conflits* (p. 228-229). Montréal : CIRADE et Agence d'Arc inc.
- Tiberghien, A. et Barboux, M. (1983). «Erreurs de l'acquisition de la notion de température par les élèves de 6^e». In A. Giordan et J.L. Martinand (dir.), *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales* (p. 113-123). Paris : Cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique.
- Toussaint, J. (1996). *Didactique appliquée de la physique chimie*. Paris : Nathan.
- Trudel, R. et Antonius, R. (1991). *Méthodes quantitatives appliquées aux sciences humaines*. Québec : Les Éditions de La Chevalerie.
- Unesco (1981). *Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences*. Paris : Éditions les Presses de l'Unesco.
- Van der Maren, J.M. (1995). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal.
- Vergnaud, G. (1999). In G. Vergnaud et E. Plaisance, *Les sciences de l'Éducation*. Paris : La Découverte, Repères. p. 58-59.
- Vermersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation*. Collection Pédagogies. Paris : Édition ESF.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire..* Paris : Éditions Hermann, collection Formation des enseignants et formation continue.
- Vuilleumier, B. (1983). «Quelques obstacles à la conceptualisation». In A. Giordan et J.L. Martinand (dir.), *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales* (p. 433-446). Paris : Cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique.

ANNEXES

ANNEXE 1
LES ERREURS DES ELEVES EN SCIENCES PHYSIQUES

QUESTIONNAIRE PRÉLIMINAIRE

Élève : _____

Instructions : Le but de ce questionnaire est de parvenir à une bonne connaissance de vos difficultés les plus courantes en sciences physiques et dans les matières comme les mathématiques qui ont des liens avec les sciences physiques.

1. Les sciences physiques représentent-elles une matière facile pour toi ?

Oui

Non

2. Quelle note obtiens-tu en sciences physiques depuis la rentrée scolaire ?

Période 1 _____ Période 2 _____

3. Si tu as des difficultés en sciences physiques, cite les parties du programme qui te semblent les plus difficiles à saisir.

4. As-tu des difficultés dans l'une des matières suivantes :

Français

Oui

Non

Mathématiques

Oui

Non

Anglais

Oui

Non

-
7. Quelles activités (3 ou 4) t'aideraient le mieux à surmonter tes difficultés en Mathématiques ?

ANNEXE 2
ANALYSE DES ERREURS DES ELEVES EN MATHEMATIQUES

Professeur : _____

Ce document contient les questions posées aux enseignants de mathématiques au cours d'une entrevue qui se déroulera dans les semaines qui précéderont les opérations. Chacune des questions sera formulée oralement et les réponses seront enregistrées sur magnétophone et par écrit au cours de l'entrevue.

Instructions : Le but de cette entrevue est de parvenir à une bonne connaissance du rendement de vos élèves en Mathématiques, de connaître leurs difficultés dans cette discipline, ainsi que des raisons qui les expliquent. Les informations en question nous aideront à établir si possible une corrélation entre les difficultés en sciences et les difficultés en mathématiques. En ce sens, j'aimerais vous interroger sur les difficultés de ces élèves en mathématiques, sur les notions qu'ils maîtrisent le moins ainsi que sur leur style d'apprentissage.

Les questions sont les suivantes :

1. Comment percevez-vous les difficultés chez les élèves les moins forts ou, pour être plus précise, quelles sont les critères sur lesquels vous appuyez pour dire qu'un élève a des difficultés dans une classe de mathématiques?
2. Dans votre(ou vos) classe(s) de mathématiques, peut-on dire que les élèves peuvent être classés en trois catégories: forts, moyens et faibles ? Ou, n'y a-t-il qu'une seule de ces catégories ? Ou, n'y a-t-il qu'une seule ou deux de ces catégories dans votre(ou vos) classe(s) ? En d'autres termes, la classe est-elle homogène ?
3. Selon vous, est-ce que le milieu socio-économique duquel l'élève est issu peut influencer ses résultats en mathématiques?
4. Cette question a deux parties :
 - a) Avez-vous rencontré des cas de décrochage en mathématiques ?
 - b) Avez-vous par contre, des cas d'élève qui, après s'être désintéressés de la matière se sont brusquement remis à travailler ?

5. Pourriez-vous me citer les difficultés les plus fréquentes chez les élèves forts, chez élèves moyens et chez les élèves faibles?
6. Mes lectures m'ont amenée à réaliser que les erreurs en mathématiques peuvent être liées aux consignes, aux difficultés dans d'autres matières, (français...) ou aux conceptions fausses de l'élève. Que pensez-vous de cela ?
7. D'après vous, à quoi sont liées les difficultés des élèves en mathématique ?
8. Pourrait-on dire qu'elles sont liées au passé des élèves, à leurs lacunes dans d'autres matières, ou à un mauvais début dans la matière elle-même tel le fait de ne pas aimer la matière tout simplement ?
9. Les élèves qui éprouvent des difficultés actuellement en mathématiques vont-ils, à votre avis, abandonner les disciplines scientifiques à l'avenir ?
10. Idéalement, qu'est-ce qui serait le plus profitable à des élèves en mathématiques d'après vous ? Les faire travailler deux périodes au lieu d'une le mercredi et le lundi seulement ou ajouter le samedi en plus de ces deux jours ? Avez-vous des suggestions à faire en ce sens ?

ANNEXE 3
ANALYSE DES ERREURS DES ELEVES
EN SCIENCES PHYSIQUES

Professeur : _____

Ce document contient les questions posées aux enseignants de sciences physiques au cours d'une entrevue qui se déroulera dans les semaines qui précéderont les opérations. Chacune des questions sera formulée oralement et les réponses seront enregistrées sur magnétophone et par écrit au cours de l'entrevue.

Instructions: Le but de cette entrevue est de parvenir à une bonne connaissance du rendement de vos élèves en sciences physiques, de connaître leurs difficultés dans cette discipline, ainsi que des raisons qui les expliquent. Les informations en question nous aideront à établir si possible une corrélation entre les difficultés en sciences et les difficultés en mathématiques. En ce sens, j'aimerais vous interroger sur les difficultés de ces élèves en sciences physiques, sur les notions qu'ils maîtrisent le moins ainsi que sur leur style d'apprentissage.

Les questions sont les suivantes:

1. Comment percevez-vous les difficultés chez les élèves les moins forts ou, pour être plus précise, quelles sont les critères sur lesquels vous appuyez pour dire qu'un élève a des difficultés dans une classe de sciences physiques?
2. Dans votre(ou vos) classe(s) de sciences physiques, peut-on dire que les élèves peuvent être classés en trois catégories: forts, moyens et faibles ? Ou, n'y a-t-il qu'une seule de ces catégories ? Ou, n'y a-t-il qu'une seule ou deux de ces catégories dans votre(ou vos) classe(s) ? En d'autres termes, la classe est-elle homogène ?
3. Selon vous, est-ce que le milieu socio-économique duquel l'élève est issu peut influencer ses résultats en sciences physiques ?
4. Cette question a deux parties :
 - a) Avez-vous rencontré des cas de décrochage en sciences physiques ?
 - b) Avez-vous par contre, des cas d'élève qui, après s'être désintéressés de la matière se sont brusquement remis à travailler ?

5. Pourriez-vous me citer les difficultés les plus fréquentes chez les élèves forts, chez élèves moyens et chez les élèves faibles ?
6. Mes lectures m'ont amenée à réaliser que les erreurs en sciences physiques peuvent être liées aux consignes, aux difficultés dans d'autres matières, (français...) ou aux conceptions fausses de l'élève. Que pensez-vous de cela ?
7. D'après vous, à quoi sont liées les difficultés des élèves en sciences physiques ?
8. Pourrait-on dire qu'elles sont liées au passé des élèves, à leurs lacunes dans d'autres matières, ou à un mauvais début dans la matière elle-même tel le fait de ne pas aimer la matière tout simplement ?
9. Les élèves qui éprouvent des difficultés actuellement en sciences physiques vont-ils, à votre avis, abandonner les disciplines scientifiques, à l'avenir ?
10. Idéalement, qu'est-ce qui serait le plus profitable à des élèves en sciences physiques d'après vous ? Les faire travailler deux périodes au lieu d'une le mercredi et le lundi seulement ou ajouter le samedi en plus de ces deux jours ? Avez-vous des suggestions à faire en ce sens ?

ANNEXE 4
PRE-TEST DE SCIENCES PHYSIQUES

Nom : _____

Prénom : _____

Date : _____

1. Quelle différence fais-tu entre chaleur et température ?

2. Explique le rôle d'une expérience de laboratoire en sciences physiques.

3. Complète les phrases suivantes :

a) L'unité de mesure de la chaleur massique est le _____

b) L'unité de mesure de la température est le _____

c) L'unité de mesure de la chaleur est le _____ <

ANNEXE 5
EXEMPLE DE FEUILLE DE TRAVAIL D'UN ELEVE

TAMARA

Remède 2 juin 1999.

Sc. physiques

P. 289

#10

parce que le froid à louse une condensation
solide sur le verre et en entrant dans une pièce chaude
le dégel se fait.

P. 290

#21

A) Solide

B) Solide, liquide

C) liquide

D) liquide, gazeux

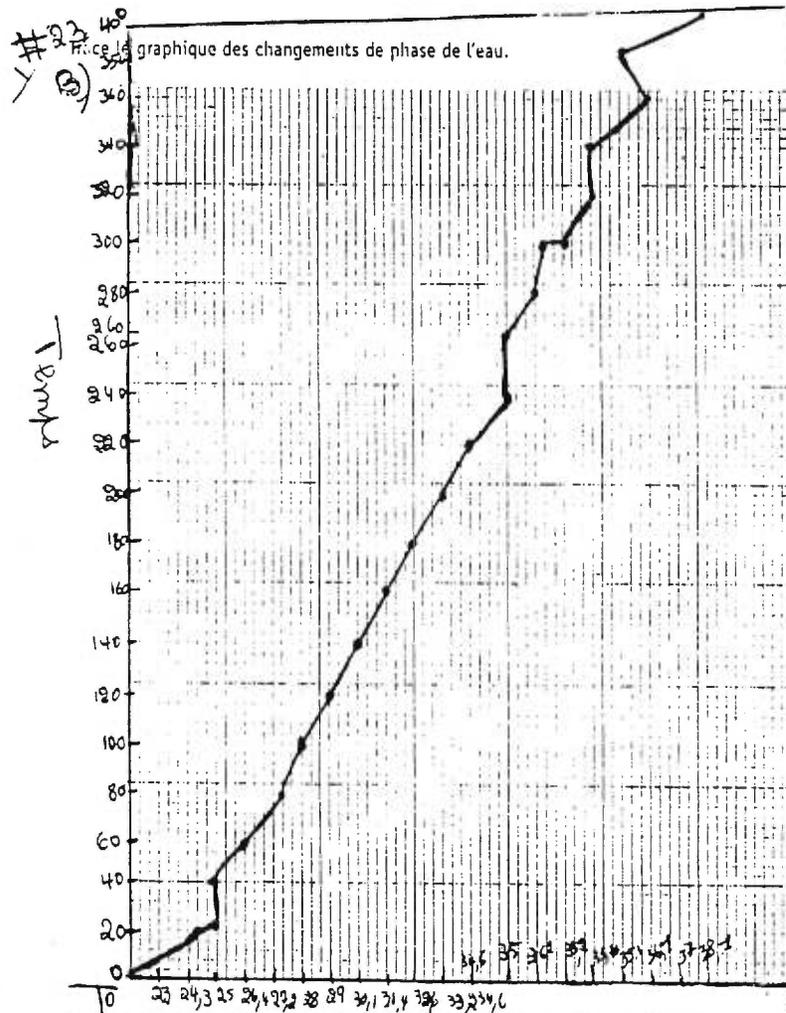
E) gazeux

F) Condensation

Q. 291

#23 b sur feuille quadrillée.

A) Non, parce que l'éther bouill à peu près à 100°C et
le ballon arrête à $38,7^{\circ}\text{C}$.



titre : Variation de la température de l'eau en fonction du temps

Note : Identifie chacune des parties de la courbe dans ton graphique et donne-lui un titre.

Titre : Variation de la T° de l'eau en fonction du temps

ANNEXE 6
EXEMPLE DE PAGE DU JOURNAL DE BORD

PAGE DU JOURNAL DE BORD

Nom de l'élève : _____

Date : _____

LES ERREURS

- Exercice résolu

- Erreur(s) enregistrée(s)

ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES ERREURS DES ÉLÈVES

a) Type d'erreur observé

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

b) Module sur lequel porte l'exercice dans lequel on observe chaque type d'erreur répertorié.

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

c) Type d'exercice(exercice portant sur des connaissances procédurales ou sur des connaissances déclaratives) dans lequel on enregistre chaque erreur.

COMMENTAIRES

ANNEXE 7
EXERCICES CORRECTIFS UTILISES

Certaines de ces questions ont été élaborées sur le modèle des exercices proposés du livre de l'élève et du carnet de bord. D'autres proviennent de l'examen de synthèse de Juin 1999 de la CECM.

Les exercices sont présentés en deux parties .La première contient quelques uns des exercices utilisés lors du traitement des obstacles didactiques et la deuxième , les exercices utilisés dans le cadre des opérations de remédiation aux autres types d'erreurs.

A) Exercices correctifs utilisés dans le cas des erreurs liées aux obstacles didactiques.

Réaliser l'interrogation dans chacune des expériences suivantes :

- 1- Mélange homogène et mélange hétérogène.
- 2- La composition d'un mélange.
- 3- La masse volumique des solutions.
- 4- L'eau potable et l'eau distillée.
- 5- La sédimentation et la décantation.
- 6- La filtration.
- 7- La chaleur et la température.
- 8- La chaleur massique.
- 9- La conservation de la chaleur.
- 10- L'isolation.
- 11- L'échange de chaleur.

12- La conduction.

13- La chaleur et l'énergie mécanique.

14- Les changements de phase de l'eau.

15- La température de fusion et la température de solidification.

B) Exercices correctifs utilisés dans le cas des erreurs liées aux opérations intellectuelles disponibles, des erreurs liées aux obstacles épistémologiques, des erreurs liées aux conflits de centration résultant de conceptions non scientifiques, des erreurs liées aux difficultés conceptuelles, des erreurs liées au transfert de techniques et dans le cas des erreurs liées à la surcharge cognitive.

1- La respiration des alpinistes est-elle toujours stable en altitude ? Justifie ta réponse.

2- Comment la pluie se forme t-elle ?

3- On fabrique de nouvelles canettes en aluminium à partir de vieilles canettes. Choisis, parmi les quatre cas suivants, celui qui présente, dans l'ordre, les deux changements de phases utilisés lors de cette transformation.

A) Liquéfaction et solidification

B) Fusion et vaporisation

C) Fusion et solidification

D) Sublimation et solidification

4- L'un des phénomènes suivants est un exemple d'évaporation. Encerle la lettre précédant le phénomène de ton choix qui illustre le mieux l'évaporation.

A) Odeur de parfum liquide qui se répand

B) Formation de la buée

C) Boules de naphthaline qui dégagent leur odeur dans un placard.

D) Givre sur le pare-brise de l'auto.

5- Associe à l'énoncé de la colonne de gauche l'expression appropriée de la colonne de droite.

- | | |
|--|--|
| a) Transvasement d'un liquide effectué délicatement afin que le résidu qui se dépose reste au fond du récipient. | A) filtration
B) distillation
C) sédimentation |
| b) Séparation réalisée au moyen d'un papier poreux. | D) décantation
E) suspension |
| c) Procédé de séparation se basant sur la différence entre les points d'ébullition des substances. | |
| d) Séparation de particules par suite de la formation d'un dépôt dans un mélange hétérogène au repos. | |

6- Transforme en degrés Celsius :

a) 200 K

b) 150 K

c) 325 K

7- Transforme en degrés Kelvin :

a) -10 degrés Celsius

b) - 85 degrés Celsius

c) + 90 degrés Celsius

8- Voici différents gestes de la vie courante :

- a) Laisser passer l'eau d'un étang au travers du sable avant de la puiser.
- b) Enlever l'huile sur une sauce avec une cuillère.
- c) Passer l'aspirateur pour enlever la poussière.
- d) Mettre des vêtements dans une sècheuse.
- e) Laisser la pulpe se déposer au fond d'un pot de jus d'orange.
- f) faire du café avec des grains moulus et un cône en papier.

Parmi ces gestes, lesquels représentent des moyens de séparation par filtration ?

A) 1-3-6

C) 3 -5-6

B) 2-4-5

D) 4-2-1

9- Complète les phrases suivantes en utilisant les mots :averse, verglas, grêle, neige, pluie, givre, bruine, nuages, grésil, rosée.

- a) La condensation de la vapeur d'eau sur le sol ou sur les objets (à une température supérieure à zéro degré Celsius) s'appelle
- b) La condensation de la vapeur d'eau sur le sol ou sur les objets (à une température inférieure à zéro degré Celsius)se nomme
- c) Les minuscules gouttelettes résultant de la condensation de la vapeur d'eau sur les grains de poussière dans l'atmosphère ont pour nom.....

- d) Le phénomène par lequel de fines gouttes d'eau des nuages se rassemblent en gouttes plus grosses et tombent (diamètre $>0,5$ millimètres) s'appelle.....
- e) Une précipitation soudaine ,violente et de courte durée dont les gouttes ont un diamètre compris entre 2 et 7 millimètres se nomme.....
- f) Une précipitation dont les gouttes sont très petites (diamètre $< 0,5$ millimètre) s'appelle.....
- g) La vapeur d'eau se condense directement en cristaux .Les cristaux s'agglomèrent .C'est la.....
- h) Les gouttelettes d'eau formées en altitude gèlent sur leur pourtour seulement ,leur centre demeurant liquide. C'est le.....
- i) La pluie congelée et portée à très haute altitude ,à plusieurs reprises ,à l'intérieur d'un cumulo-nimbus en été représente la.....

10- Pourquoi la cafetière en aluminium a t-elle une poignée recouverte de caoutchouc ?

11- Établis la distinction entre une eau saine et une eau polluée.

12- Écris, en un mot, entre les parenthèses accompagnant chaque énoncé le mode de production de la chaleur que tu associes à chacune des situations suivantes.

- a) Poncer une pièce de bois. ()
- b) Gonfler un ballon de soccer avec une pompe. ()
- c) Clouer. ()

- d) Plier et déplier rapidement un fil de métal. ()
- e) Frotter une allumette.()

13- Parmi les énoncés suivants, trois sont vrais. Écris les lettres correspondants aux énoncés vrais à côté du mot réponse.

- A) La chaleur est une forme d'énergie.
- B) La chaleur et la température sont deux termes différents.
- C) La température la plus basse s'appelle le zéro absolu.
- D) La chaleur se mesure en Kelvin.

Réponse :.....

14- Selon le principe du transfert de chaleur :

- a) Quelle sera la température d'un mélange de 100 millilitres d'eau à 100 degrés Celsius avec 100 millilitres d'eau à 20 degrés Celsius ?
- b) Quelle sera la température d'un mélange de 50 millilitres d'eau à 10 degrés Celsius avec 50 millilitres d'eau à 100 degrés Celsius ?

15- Tu réalises quatre types de mélanges à partir de constituants différents.

Ce sont :

1 - Le mélange A formé à partir de trois produits solides :le sable, le sucre et le sel.

2 - Le mélange B formé à partir d'un produit solide :le sucre, et de deux produits liquides :l'eau et l'huile.

3 - Le mélange C formé à partir de deux produits solides :le sel et le sucre et d'un produit liquide :l'eau.

4- Le mélange D formé à partir de trois produits liquides :le vinaigre ,l'eau et l'huile .

Lequel de ces mélanges a des chances d'être homogène.

A) 1

C) 3

B) 2

D) 4